

**Univerzita Karlova v Praze**

**Přírodovědecká fakulta**

Studijní program: Aplikovaná geologie

Studijní obor: Inženýrská geologie



**Bc. Barbora Dašková**

Vyhodnocení rizika svahových pohybů pro plánovanou stavbu rychlostní silnice R35 v oblasti  
jižního obchvatu Turnova

The risk assessment of slope deformations for the R35 Highway project in the region of  
the southern by-pass of Turnov city

Diplomová práce

Vedoucí práce: Ing. Petr Kycl

Konzultant: Ing. Jan Boháč Csc., Ing. Josef Rott

Praha, 2017

**Prohlášení:**

Prohlašuji, že jsem závěrečnou práci zpracovala samostatně a že jsem uvedla všechny použité informační zdroje a literaturu. Tato práce ani její podstatná část nebyla předložena k získání jiného nebo stejného akademického titulu.

V Praze, .....

.....

Podpis

## Abstrakt

Plánovaná rychlostní silnice R35 je v papírové podobě známá už od roku 1963, ale do dnešního dne jsou postaveny jen některé úseky. Mezi ně patří i plánovaný úsek přes Český ráj. Existuje několik variant, kudy by mohla rychlostní silnice vést, ale žádná z nich není plně dokonalá. Zatím vítězná severní varianta má naplánovaný jižní obchvat Turnova pomocí tunelu, který má vést pod obcemi Mašov, Hamry a Pelešany. Bohužel toto území je známé jako dočasně uklidněné sesuvné území. Tato diplomová práce se zabývá zjištěním smykové plochy sesuvu pomocí geofyzikálního měření ERT, mapováním zkoumaného svahu v měřítku 1 : 5000 a možnými dopady vybudovaného tunelu na obce. Mapování proběhlo v březnu roku 2016 a spolu s dokumentačními body je mapa součástí přílohy této práce.

**Klíčová slova:** silnice R35, tunel, ERT, stabilita svahu, mapování sesuvu

# Abstract

The planned R35 expressway has been known in paper form since 1963, but to date only a few sections have been built. These include the planned stretch through Bohemian Paradise. There are several ways to drive the highway, but none of them is perfect. So far, the winning northern variant has a planned southern bypass of Turnov using a tunnel to lead under the villages of Mašov, Hamry and Pelešany. Unfortunately, this area is known as a temporarily soiled landslide area. This thesis deals with the detection of the sliding surface of the sludge by means of geophysical measurement of ERT, mapping of the studied slope in the scale of 1 : 5000 and possible impacts of the built tunnel on the municipalities. The mapping took place in March 2016 and together with the documentation points, is a map of the annex to this thesis.

**Keywords:** R35 road, tunnel, ERT, slope stability, landslide mapping



## Poděkování

Na prvním místě moc děkuji svým rodičům za plnou psychickou a materiální podporu během celého studia.

Mé velké díky patří především panu ing. Janu Boháčovi, CSc., ing. Petru Kyclovi a ing. Josefu Rottovi za trpělivost a pomoc při tvorbě této práce.

Srdečně děkuji paní Mgr. Kristině Podskalské za kontrolu práce, panu Martinovi Dostálíkovi a Janu Malíkovi za pomoc při ERT měření a doplnění práce

# Obsah

Úvod.....	1
Geologické a geomorfologické poměry.....	3
I.    Geomorfologie .....	3
II.   Geologie české křídové pánve.....	4
a)  Perucko-korycanské souvrství.....	6
b)  Bělohorské souvrství .....	6
c)  Jizerské souvrství.....	7
d)  Teplické souvrství.....	7
e)  Březenské souvrství.....	7
f)  Merboltické souvrství.....	8
III.  Hydrogeologie .....	9
Celá rychlostní silnice R35 .....	11
I.    Rozdělení silnice na plánované úseky .....	12
II.   První plánovaný úsek mezi Turnovem a Úlibicemi .....	13
a)  Koridor 1 – severní .....	14
b)  Koridor 2 - jižní .....	14
c)  Koridor 3 - superseverní.....	15
Pelešanský sesuv.....	16
I.    Historie Turnova a blízkého okolí.....	16
II.   Geologie oblasti Turnova .....	18
a)  Geologie zkoumaného svahu .....	18
b)  Vymezení sesuvného území .....	24
c)  Hydrogeologie Pelešan a okolí .....	26
d)  Tektonické poměry a seismická aktivita .....	27
III.  Pelešanský tunel.....	28
a)  Východní portál .....	30
b)  Západní portál tunelu.....	31
Mapování sesuvu Pelešany .....	32
Měření pomocí ERT .....	33
I.    Obecný popis elektrické odporové tomografie ERT .....	33
II.   Metodika měření ERT.....	35
III.  Výsledky .....	37
a)  Profil P1 .....	37
b)  Profil P2 .....	38
c)  Profil P3 .....	39

Stabilita svahu.....	40
I.    Zatřídění zeminy.....	40
II.   Určení indexu plasticity.....	41
a)  Mez plasticity .....	41
b)  Mez tekutosti .....	42
III.  Úhel vnitřního tření.....	44
IV.   Výpočet stupně stability.....	45
a)  Metodika Morgenstern-Pricovy metody.....	46
b)  Vytvoření modelu v programu GEO-SLOPE.....	49
Diskuse.....	53
I.    Řešení pomocí tunelu.....	53
II.   Doporučení pro orientační geotechnický průzkum .....	53
Závěr .....	55
Seznam literatury .....	57

# Úvod

Svahové pohyby se projevují po celém světě a v České republice jsou hojným jevem. Záruba (1974) uvádí, že během let 1962 – 1963 proběhlo sčítání sesuvů. Podle něj máme v republice registrováno 9 164 sesuvů v celkové ploše 60 000 ha. Podle nového registru svahových nestabilit (RSN) vytvořeného a spravovaného Českou geologickou službou pak bylo ke konci roku 2016 evidováno v ČR celkem cca 16 tis. sesuvů. Prioritním faktorem svahových pohybů jsou vhodné geologické poměry na svahu, sekundárním faktorem je nevhodný zásah lidskou činností. Oproti ostatním katastrofám má ovšem jejich dopad čistě regionální rozsah a akutnímu nebezpečí vzniku sesuvů a jiných pohybů svahové hmoty musí čelit pouze oblasti s dynamickým potenciálem. Mezi ně patří i větší svah v severním cípu Hruboskalského skalního města zasahující do obcí Pelešany, Mašov a Hamry, přes který je vedena jedna z plánovaných tras rychlostní silnice R35.

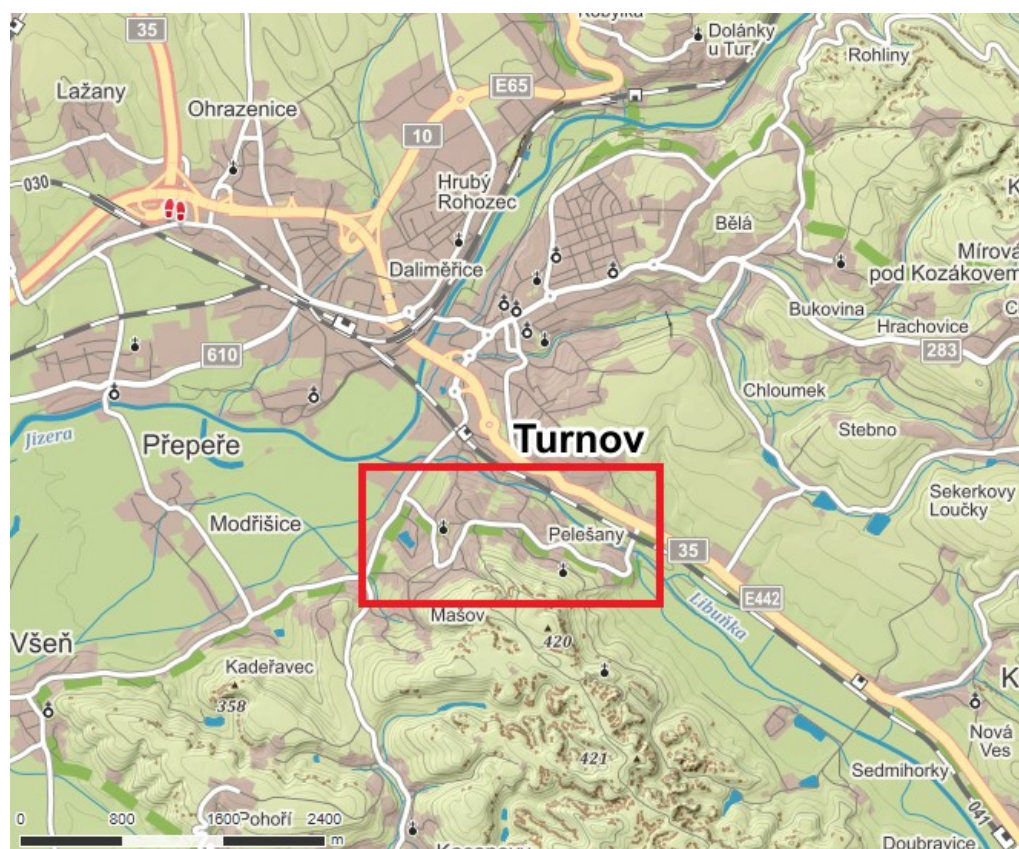
První zmínka o silnici, která bude vést z Turnova přes Hradec Králové až do Olomouce, je z roku 1963 a nese označení D35. Během let bylo vypracováno několik návrhů, kudy by měla rychlostní silnice z Hradce Králové přes Jičín do Turnova, vést a jsou označeny jako severní, jižní a superseverní koridor, každý koridor má ještě několik variant. Do dnešního dne však máme postavené jen určité úseky této silnice, a tak se tato diplomová práce bude zabývat navrženým jižním obchvatem Turnova z projektu severního koridoru. Jedná se o složitější část celého plánovaného úseku, jelikož navržená silnice má procházet značnými svahovými nestabilitami ve složitějším geologickém podloží, a to ve formě tunelu. Celková délka tunelu ještě není přesně stanovena a je plánována v rozmezí od 800 – 1400 m.

Diplomová práce bude rozdělena do tří částí. V první části popisují základní geomorfologicko-geologické schéma širší zájmové oblasti české křídové pánve. Ve druhé části popisují plánované úseky silnice R35, geologii oblasti Pelešanského tunelu a bližší pohled na vedení obchvatu pomocí tunelu. A ve třetí části je samotné měření, mapování svahu a výpočet stability svahu.

Cílem práce je zjistit detailnější podobu a charakteristiku tzv. Pelešanského sesuvu a také, zda by se při navržené stavbě tunelu mohly znovu projevit svahové deformace. K tomu bylo využito geofyzikální měření pomocí multielektrodové odporové metody (ERT - electrical resistivity tomography), která umožňuje získat data s podstatně větší hustotou i kvalitou než u klasických postupů. Dále bylo provedeno mapování sesuvu s dokumentačními

body v měřítku 1:5000 (vše je součástí přílohy této práce), výpočet stupně stability a geologický řez vytvořený v programu GEO-SLOPE.

Zájmové území se nachází na severu České republiky v Libereckém kraji, v okrese Semily jižně od města Turnova. Územní obvod města Turnova s přilehlými obcemi Pelešany, Mašov, Malý Rohozec, Bukovina a Dolánky má rozlohu 2 277 ha a je nedílnou součástí krajiny zvané Český ráj. Oblast či spíše svah, o který se bude diplomová práce zajímat, se nachází na jižní straně města Turnova na levém břehu řeky Libuňky a rozprostírá se po celé délce obce Pelešany, Hamry a východní části obce Mašov. Zkoumaný svah je součástí kopce Na konících, který se tyčí do výše 420 m.n.m. V okolí se nachází železniční trať Jičín – Turnov, silnice I. třídy č. 35, hrad Valdštejn a skalní vyhlídka s rozhlednou Hlavatice (obrázek 1).



Obrázek 1: Mapa Turnova s přilehlými obcemi. Rámečkem je označená oblast Pelešan, kterou se bude diplomová práce zabývat (mapy.cz)

# Geologické a geomorfologické poměry

Tato oblast je charakterizována vývojem skalních měst v kvádrových pískovcích svrchního turonu a coniaku (jako je například nedaleké Hruboskalsko, jehož souvrství zde dosahuje mocnosti 60 m až 130 m). Dnešní reliéf terénu je výsledkem kvartérní eroze či denudace, využívající zejména puklinový systém, kterým je pískovcový masiv prostoupen ([www.kraj-lbc.cz](http://www.kraj-lbc.cz)). Významným činitelem eroze bylo především mrazové působení v glaciálních fázích pleistocenního klimatu a důsledkem zvětrávání jsou mohutné pláště písčitých zvětralin, které překrývají okrajové svahy a úpatí pískovcové plošiny, jejímž podkladem jsou plastické svrchnoturonské slíny a slínovce (Stuchlík, 2000). V závěru tohoto období byly v oblasti plošiny uloženy sprašové hlíny, jejichž mocné akumulace dotvářejí celkový vzhled svažitých terénů, které plošinu lemují.

Litostratigrafické poměry tohoto území předurčují náchylnost svažitých terénů k sesouvání. To je dáno vzájemnou dispozicí zvětralinového pláště, jehož zdrojem je masiv coniackých pískovců a podložních vrstev slínů a slínovců svrchního turonu.

Z regionálně geologického hlediska spadá zájmové území do české křídové pánve mezozoického stáří. Česká křídová pánev je zde zastoupena sedimentárními horninami.

## *I. Geomorfologie*

Z hlediska geomorfologického členění je daná oblast podle ČÚZK (Český úřad zeměměřičský a katastrální) zařazena pod ([geoportal.cuzk.cz](http://geoportal.cuzk.cz)):

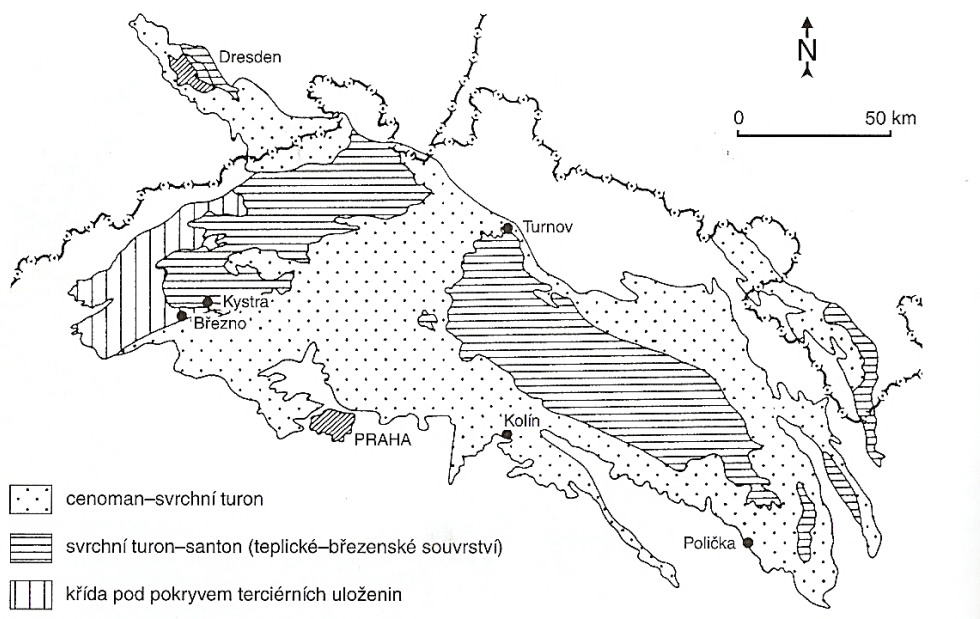
- systém: Hercynský
- subsystém: Hercynské pohoří
- provincie: Česká vysočina
- subprovincie: Česká tabule
- oblast: Severočeská tabule
- celek: Jičínská pahorkatina
- podcelek: Turnovská pahorkatina

Přesněji se pohybujeme v oblasti Turnovské pahorkatiny nad Libuňskou brázdou, ve východní partii Vyskeřské vrchoviny (Vybíral, 2006).

## II. Geologie české křídové pánve

*„Česká křídová pánev se rozkládá v severní polovině České republiky na ploše asi 14 600 km<sup>2</sup>. Jedná se o největší dochovaný sedimentační prostor, který sahá v délce 290 km od severozápadní Moravy až k Drážďanům. Původní rozsah byl mnohem větší, pánev sahala až k tehdy nízké elevaci Brd, Hřebenům a do Posázaví, ale značná část pánve podlehlá pokřídové erozi” (pruvodce.geol.cechy.sci.muni.cz).*

Česká křídová pánev patří k soustavě evropských epikontinentálních pánví, vzájemně propojených po cenomanské mořské transgresi. Pánev byla založena v oslabené a k mobilitě náchylné obloukové části Českého masivu. Mořská záplava trvala patrně jen asi 10 milionů let, přesto mocnost uloženin dosahuje řádů set metrů (na SZ až 1 100m). Hlavní výplň pánve tvoří převážně klastické sedimenty (různých zrnitostí), v mořských uloženinách jsou karbonátové sedimenty (slíny, slínovce, opuky i vápence). Při cenomanské mořské transgresi byl vývoj komplikovaný, nacházíme sedimenty říční, jezerní, lagunární, plážové i mělkomořské (obrázek 2, Chlupáč et. al., 2002).

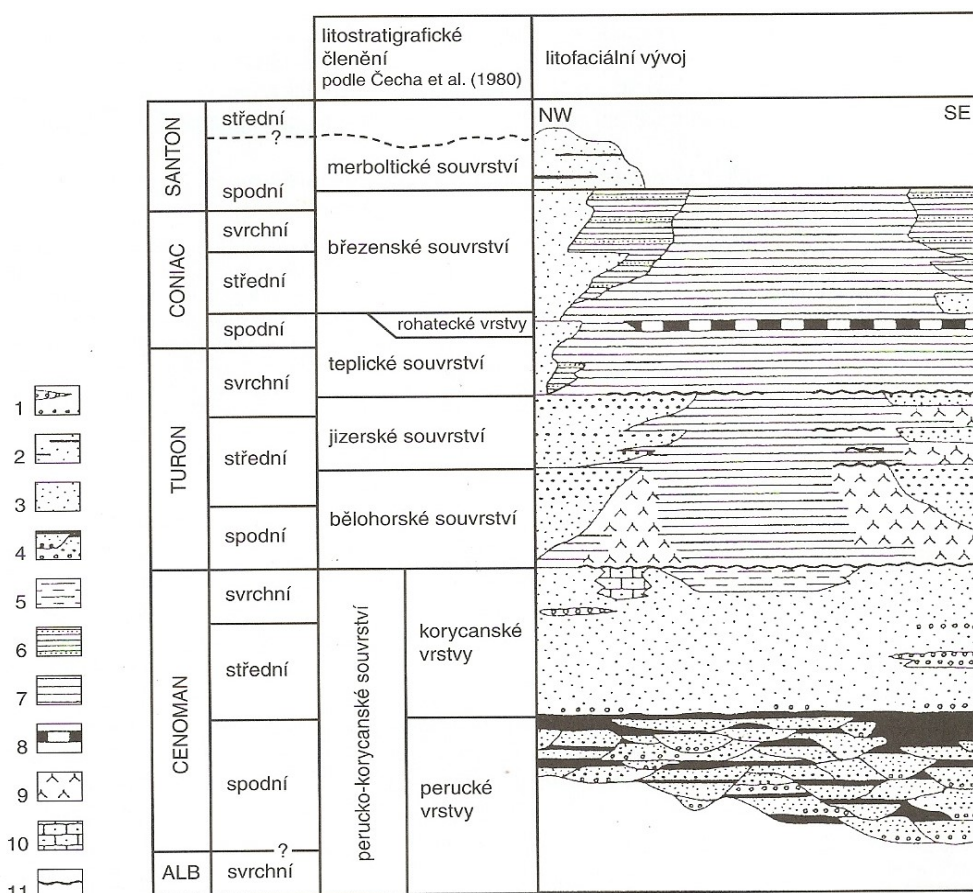


Obrázek 2: Geologická mapa české křídové pánve (Čech et. al., 1980)



Po mořské transgresi ve spodním turonu, která definitivně zformovala pánev, došlo k rozdělení do dvou základních faciálních typů (Chlupáč et. al., 2002).

- Facie kvádrových pískovců je typická pro oblasti s přínosem klastického materiálu z pevniny. Jedná se o oblast mezi Drážďany, širším okolí Mladé Boleslavi a centrální části vnitrosudetské pánve na Broumovsku. Mocnost je až několik metrů.
- Facie vápnitých jílovců a slínovců s přechody do jílovitých vápenců je typická pro oblasti vzdálené od pobřeží s minimálním přínosem pevninského materiálu.



Obr. 195. Stratigrafické schéma české křídové pánve (J. Valečka 1999). 1 – slepence; 2 – pískovce s vložkami jílovců; 3 – pískovce; 4 – cyklické střídání slepenců, pískovců a jílovců; 5 – prachovce; 6 – vápnité jílovce s vložkami pískovců; 7 – vápnité jílovce až biomikritové vápence; 8 – rohatecké vrstvy; 9 – slínovce (opuky); 10 – bioklastické vápence; 11 – glaukonitické obzory na hiátových plochách.

Obrázek 3: Stratigrafické schéma české křídové pánve (Valečka et. al., 1999)

Podloží křídové pánve je z 60% tvořeno předkarbonskými horninami a z 40% sedimenty svrchního paleozoika. Rozsáhlé zastoupení pod křídovou pánví mají horniny svrchního proterozoika, kde se místy jedná až o 7 km mocný sled hornin. Podloží centrální části křídové tabule je budováno středním oddílem svrchně proterozoických metamorfitů



(Markovský et. al., 1974). V podloží pánve jsou rovněž zastoupeny horninové komplexy staršího paleozoika, které tvoří izolované ostrůvky s malým plošným rozsahem (tvoří asi 15% podloží celé pánve ([www.pruvodce.geol.cechy.sci.muni.cz](http://www.pruvodce.geol.cechy.sci.muni.cz))). Největší zastoupení v oblasti Turnova mají sedimenty z teplického a březenského souvrství.

### a) Perucko-korycanské souvrství

Nejstarší části pánevní výplně tvoří perucko-korycanské souvrství, které se běžně dělí na vrstvy perucké a korycanské (obrázek 3). Perucké vrstvy jsou nejnižším členem a tvoří je několik cyklů křemenných slepenců a pískovců přecházejících přes prachovce do jílovců. Jde o říční a jezerní sedimenty, jejichž rozšíření je značně závislé na místních poměrech a tvarech podložního reliéfu. Mocnosti jsou velmi proměnlivé (0 – 120 m). Perucké vrstvy se charakterizují jako sladkovodní, v nich lze prokázat mořské vlivy. Musíme počítat s uloženinami lagun epizodicky spojených s mořem a přímořskými jezery, proto není oddělení uloženin ostré. Tato vrstva obsahuje bohatou flóru.

Vrstvy korycanské dokazují cenomanskou mořskou sedimentaci a spočívají v nadložní perucké vrstvě. Transgrese moře probíhala v několika fázích, a proto se v profilu mohou mořské i sladkovodní uloženiny opakovat. Horniny jsou světle šedé nebo rezavé a často diagonálně zvrstvené. Objevují se zde pískovce s kaolinickou hmotou a polohy jemnozrnných slepenců a prachovců. Ve svrchní části přibývá glaukonitů, které jsou zeleně zbarvené. Korycanské vrstvy zarovňávají deprese, které ovlivňovaly vývoj podložních peruckých vrstev. Jejich rozložení je plošně větší a rovnoměrnější, běžně kolísá mocnost mezi 20 - 60m. Osobitý vývoj mají korycanské vrstvy ke skalnímu pobřeží, kde tvoří ostrovní elevace. V příbřežní zóně jsou tzv. příbojové facie, jedná se o hrubé slepence s valouny a bloky podložních tvrdých hornin a různé typy bioklastických a mikritových vápenců. Vyskytují se zde fosfatové povlaky i fosfatizované organické zbytky, typická je rychlá místní proměnlivost (slepence, brekcie, vápence, slíny (Chlupáč et. al., 2002)).

### b) Bělohorské souvrství

Na bázi nalézáme vápnitý šedo zelený glaukonitický jílovec (mocnost 10 - 50 cm, místy i více). Tato poloha ostře nasedá na podloží a vyznačuje stratigrafický hiát a následnou sedimentaci. V nadloží jsou opuky, které jsou převážně světlešedé, a žlutavé slínovce

s prachovou příměsí. Opuky se usazovaly dále od pobřeží a jejich značné rozšíření mělo za následek další vyrovnání nerovností dna. V místech skalnatých elevací bývá i spodní turon vyvinut ještě ve facii kaňských vrstev se slepenci a vápenci. V oblastech, kam zasahoval přínos písčitého materiálu, převládají křemenné kvádrové pískovce, v nejvyšších polohách s příměsí glaukonitu (Chlupáč et. al., 2002).

### c) Jizerské souvrství

Další etapou svrchnokřídové transgrese je jizerské souvrství, které dosahuje mocnost až 400m. V této etapě pokračovalo ukládání vápnitých jílovců, slínovců, opuk a mocných kvádrových těles (Chlupáč et. al., 2002).

### d) Teplické souvrství

Teplické souvrství má transgresní charakter. Jedná se většinou o ostré litografické rozhraní tzv. hiátová plocha (obrázek 3). Na plochu se ukládá tenká poloha jílovitého vápence s glaukonitem, fosfátovými hlízkami a fosfatizovanými organickými zbytky tzv. koprolitová vrstvička. V blízkosti této vrstvičky se nalézá horizont koštických plošek z Lounska, známý nahromaděním dobře zachovaných drobných zkamenělin ([www.gweb.cz](http://www.gweb.cz)). V této době byl rozsah pánve největší. Převládala monotónní sedimentace slínovců a mikritových vápenců, pískovcová facie se nalézá převážně u lužického zlomu a vnitrosudetského zlomu. Ve svrchní části souvrství lze za samostatný člen považovat rohatecké vrstvy tzv. zvonivé opuky inoceramové, tyto vrstvy se ukládaly v osní části pánve a jejich charakteristickým znakem je silicifikace některých poloh. Z teplického souvrství pocházejí nálezy fosilií schránek amonitů až o průměru 1m (Chlupáč et. al., 2002).

### e) Březenské souvrství

Výraznou jednotku tvoří nadložní březenské souvrství (mocnost přes 500 m), nazvané podle lokality Březno u Loun. Toto souvrství tvoří nejvyšší a erozí nejvíce postiženou část pánevní výplně, takže v celistvém stavu je zachováno v Českém středohoří (kde je ochránily terciérní neovulkanity). Větší rozsah má opět facie kvádrových pískovců rozšířená jak v severozápadní, tak v jihovýchodní části. Nalézáme zde přechodné facie, v nichž se střídají vrstvy vápnitých jílovců a prachovců s vložkami pískovců, které mají ostré spodní hranice a

svědčí o náhlých epizodických událostech (obrázek 3). Charakter vrstev připomíná flyšový vývoj, ráz fauny však nesvědčí o hlubokovodním prostředí a pískovcové vložky lze nejspíše považovat za uložení velkých mořských bouří – tempestity (vyvinuty jsou v králickém příkopu, kde dosahují mocnost až 550m). V centru pánve se usazovaly hlavně vápnité jílovce a slínovce (Chlupáč et. al., 2002).

#### f) Merboltické souvrství

Jde o nejmladší jednotku české křídové pánve, která je zachovalá pouze jako denudační zbytky v Českém středohoří. Jedná se o málo zpevněné jemně a středně zrnité bělavé pískovce s jílovitou základní hmotou a příměsí živcových zrn. Toto souvrství lze považovat za regresní uložení, není však jisté, zda jimi skutečně končila křídová sedimentace, neboť v jiných evropských pánvích se v campanu uplatnila další transgresní fáze (Chlupáč et. al., 2002).

Sedimenty české křídové pánve mají horizontální uložení nebo uložení jen s mírným úklonem vrstev. V terciéru byly postiženy saxonskou tektonikou, kdy došlo ke vzniku zlomů a místy výrazným vertikálním pohybům. Výraznou strukturou je lužická porucha, (která má místy až charakter přesmyku), kdy byly podložné horniny (krystalinykum, perm, jura) přesunuty přes křídové sedimenty. V některých částech došlo k mírnému zvrásnění (pruvodce.geol.cechy.sci.muni.cz).

### *III. Hydrogeologie*

Území Libereckého kraje patří z hlediska zásob podzemní vody k nejbohatším v České republice. Celé území je v regionu se sezónním doplňováním zásob mělkých podzemních vod. Na území kraje jsou vymezeny tři chráněné oblasti přirozené akumulace podzemních vod a to Severočeská křída, Jizerské hory a Krkonoše. Zájmová oblast Turnov je součástí chráněné oblasti podzemní akumulace vod Severočeská křída, patří do povodí Labe a dílčího povodí Jizery.

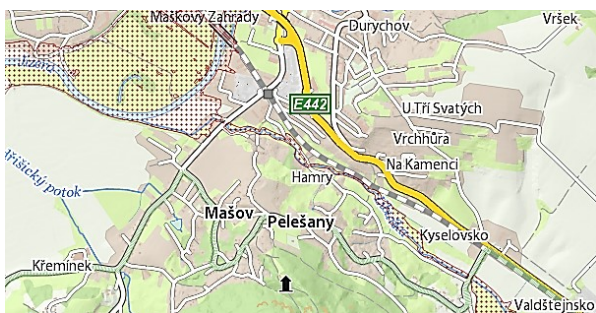
Na území kraje lze vymežit tři oblasti s různými časovými úseky nejvyšších průměrných měsíčních stavů hladin podzemních vod (hydro.chmi.cz):

- Oblast II B 5 - Frýdlantské pahorkatiny, Hrádecká a Liberecká kotlina
- Oblast II G 6 - Lužické hory, jejich podhůří, včetně severní a severovýchodní části Ralské pahorkatiny, Jizerské hory a Krkonoše
- Oblast II E - Zbývající část Libereckého kraje

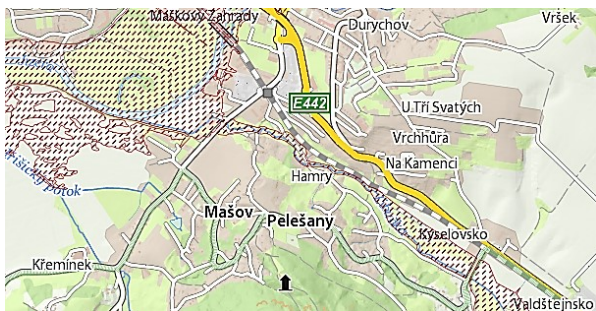
V rámci kraje lze vymežit tři regiony s různě vysokým specifickým odtokem podzemních vod:

- Oblast třetihorních sedimentů na jihu a jihozápadě kraje
- Jižní část Ralské pahorkatiny a Doksy
- Oblast Českolipska, jižní část okresu Liberec a oblast Podkrkonoší

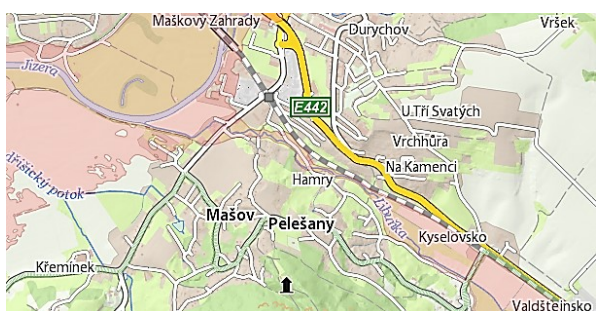
Zájmová oblast je charakterizována zeminami a horninami, které jsou jak dobře propustné, tak polopropustné až nepropustné, a převažuje zde prùlinově-puklinové prostředí. Území Pelešan a Mašova se hydrogeologicky nachází v oblasti II E, kde jsou nejvyšší stavy vody v období květen – červen a nejnižší v období září – listopad. Dle rozdělení na regiony se nacházíme v oblasti třetihorních sedimentů, tedy v oblasti s nejnižšími hodnotami specifického odtoku v kraji ( $1,01 - 1,50 \text{ l/s} \cdot \text{km}^2$ ). Oblastí protéká řeka Libuňka, která se hned za obcí Mašov vlévá do Jizery. Kolem řeky je stanoveno ochranné pásmo vodních zdrojů II. stupně. Podle povodňové mapy je okolo řeky Libuňky i nedaleké Jizery vymezena oblast, kam až zasáhne hladina vody při pětileté, dvacetileté a stoleté vodě (obrázek 4).



a) Pětiletá voda



b) Dvacetiletá voda



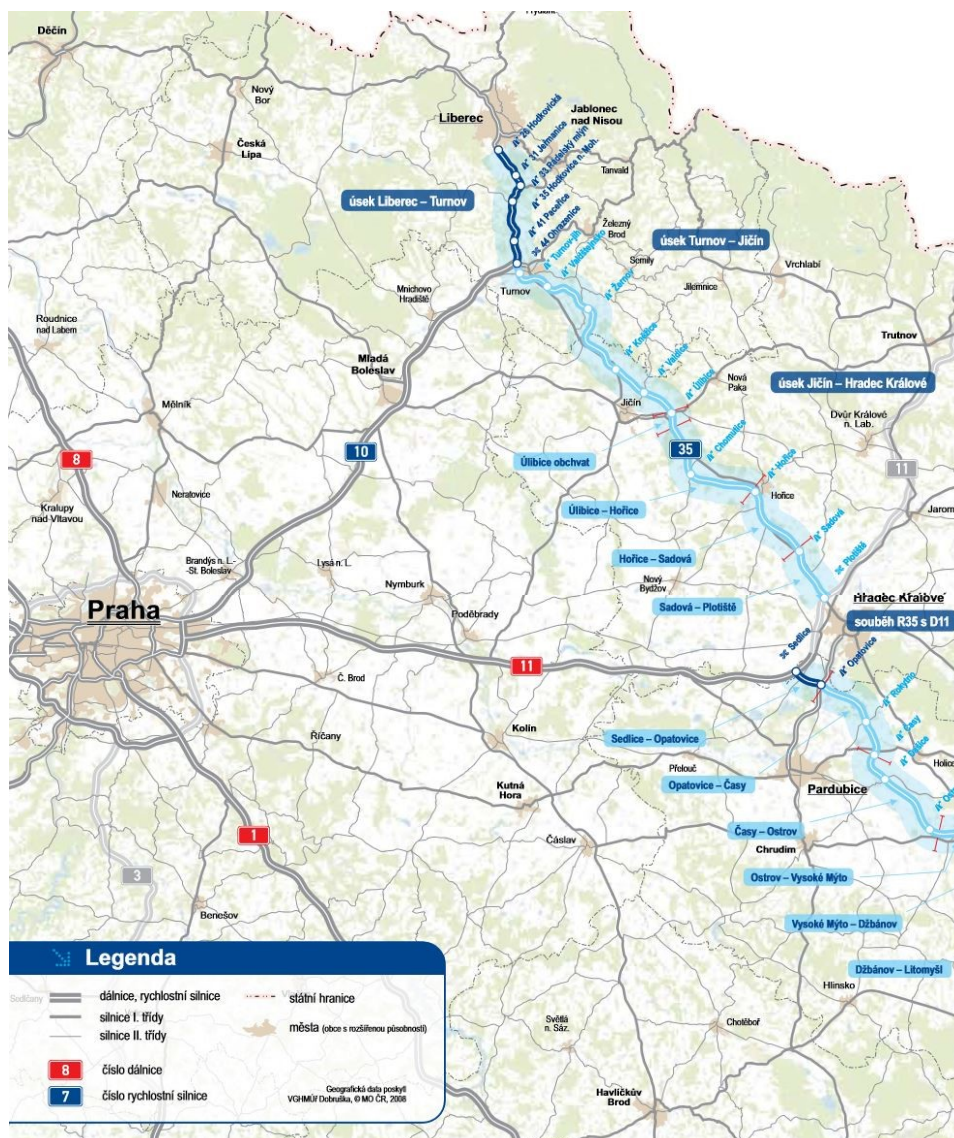
c) Stoletá voda

Obrázek 4: Mapa postižené oblasti při pětileté, dvacetileté a stoleté vodě (povodnovamapa.kraj-lbc.cz)

Jak již bylo zmíněno, Turnov se nalézá na rozhraní tří jednotek - Mnichovohradišťské kotliny, Vyskeřské plošiny a Libuňské brázdy. Osou celého území je řeka Jizera s údolní nivou. Nejnižší nadmořská výška je 243 m u Jizery a nejvyšší bod je 420 m u hradu Valdštejn. Roční úhrn srážek činí 743 mm a průměrná roční teplota činí 7,7 stupňů Celsia. Trvání slunečního svitu je v průměru 1750 hod./rok a sněhová pokrývka zde trvá 74 dní (www.turnov.cz).



## Celá rychlostní silnice R35



Obrázek 5:

Plánovaná trať  
rychlostní silnice  
R35, varianta  
severní koridor  
([www.dalnice-silnice.cz](http://www.dalnice-silnice.cz))



Označením „Severní páteřní trasa“ se právem může pyšnit silnice, která spojuje Čechy s Moravou a nese označení R35. První zmínka o této silniční komunikaci je v plánech dálniční sítě z roku 1963 a to s označením D35. Trasa byla plánovaná v úseku křižujícím Hradec Králové – Litomyšl – Svitavy – Jevíčko – Konice – Olomouc – Lipník nad Bečvou, kde se měla napojovat na dálnici D47 (dnešní dálnici D1). Realita je většinou jiná než dobře sestavený plán, a tak máme v dnešní době v provozu jen několik vzájemně nepropojených úseků. Konkrétně se jedná o úseky Liberec – Turnov (R10), Sedlice (D11) – Opatovice, Mohelnice – Olomouc (což je nejstarší část dálnice), a částečně nedokončený obchvat Olomouce s navazujícím úsekem Olomouc – Lipník nad Bečvou (D1). Po sjednocení celého plánovaného úseku půjde s celkovou délkou přes 260 km o nejdelší českou rychlostní silnici ([www.dalnice-d35.cz](http://www.dalnice-d35.cz)). Délka rychlostní silnice R 35 je závislá na konečné variantě úseku Turnov - Úlibice.

### *I. Rozdělení silnice na plánované úseky*

Projekt je rozdělen do tří větších stavebních úseků, které v sobě skrývají několik menších silničních tratí (obrázek 5, [www.dalnice-silnice.cz](http://www.dalnice-silnice.cz)).

- *Úsek: Liberec – Turnov – Jičín – Hradec Králové*
  - Liberec – Turnov
  - **Ohrazenice (Turnov) – Úlibice**
  - Úlibice – obchvat
  - Úlibice – Hořice
  - Hořice – Sadová
  - Sadová – Plotišťe
- *Úsek: Hradec Králové – Mohelnice*
  - Sedlice – Opatovice
  - Opatovice – Časy
  - Časy – Ostrov
  - Ostrov – Vysoké Mýto
  - Vysoké Mýto – Džbánov
  - Džbánov – Litomyšl

- Litomyšl – Janov
  - Janov – Opatovec
  - Opatovec – Staré Město
  - Staré Město – Mohelnice
- 
- *Úsek: Mohelnice – Olomouc – Lipník n. B.*
    - Mohelnice – Olomouc
    - Křelov – Slavonín, 2. etapa
    - Olomouc – Lipník n. B.

Vzhledem k rozsáhlosti a složitosti celé plánované rychlostní silnice se tato diplomová práce bude zabývat pouze prvním úsekem Liberec – Turnov – Jičín – Hradec Králové a silniční tratí Ohrazenice (Turnov) – Úlibice.

## *II. První plánovaný úsek mezi Turnovem a Úlibicemi*

Stavba části rychlostní silnice v úseku Turnov až Úlibice je projektovaná v kategorii R 25,5/100, 120 a měří 35 - 44 km dle variant. Příprava této stavby je velice složitá. Technické studie toho úseku začaly již v roce 1986 firmou Pragoprojekt a s menšími pauzami (vytvoření konceptu, veřejné projednání, vyjádření zastupitelstva Libereckého kraje) trvají dodnes ([www.dalnice-silnice.cz](http://www.dalnice-silnice.cz)).

Na jaře 2003 byly předloženy tři možné varianty pro rychlostní silnici R35. Varianta A představovala původní dvoupruhové řešení, varianta B je dnešní upravená severní trasa se západním obchvatem Rovenska a varianta C je dnešní upravená severní trasa s východním obchvatem Rovenska. Po dlouhém jednání byla odhlasována varianta C. Trasa je ve studii navržena ve 3 koridorech v kategorii R 25,5/120, 100. Všechny koridory byly posouzeny z ekologického hlediska a dá se říci, že jsou srovnatelné. Rozdíl v nákladech mezi severním a jižním koridorem je přijatelný, z dopravního a ekonomického hlediska je nejlépe hodnocen koridor severní ([www.dalnice-d35.cz](http://www.dalnice-d35.cz)).

Původní dvoupruhová přeložky kategorie R 11,5/100 měřila 30,0 km. Stavba začínala na MÚK Ohrazenice. Křížila železniční trať, procházela prolukou v zástavbě a dále mezi Turnovem a Nudvojovicemi. Mostem přes Jizeru a následně jižně podél železniční trati kolem



Pelešan, Sedmihorek. Trasa dále míjí severovýchodně Ktovou a Újezd pod Troskami, za kterým je až k Železnici trasa opět navržena ve dvou variantách. Trasa jižně míjí Železnici, severně Valdice a Studeňany a končí na MÚK Úlibice.

#### a) Koridor 1 – severní

Touto variantou se bude diplomová práce zabývat.

Zatím vítězná varianta severního koridoru měla během řady let několik variant. Zatím poslední varianta ponechává začátek silnice na stejném místě jako původní návrh, tedy že stavba začíná před dnešní MÚK Ohrazenice s rychlostní silnicí R10, která bude přestavěna. Dále kříží železniční tratě Turnov–Liberec a Praha–Turnov a prochází prolukou mezi Přepěrami a Nudvojovicemi. Se silnicí II/610 je navržena MÚK Přepěře sloužící k napojení přilehlých průmyslových areálů. Trasa je vedena po jižním okraji Nudvojovic kolem jízdního a překračuje mostem řeku Jizeru a vede v koridoru mezi železničními tratěmi Turnov–Jičín a hranicí CHKO Český ráj. Před Valdštejnem kříží železniční trať a stávající silnici I/35, za kterou následuje MÚK Valdštejnsko s přeložkou silnice III/2835. Trasa se následně vzdaluje dnešní silnici I/35 a je vedena zemědělskými pozemky severně kolem Svatoňovic. Západně od obce Volavec je umístěna MÚK Volavec se silnicí III/2828, do které je variantně zapojena navrhovaná přeložka silnice II/282. Trasa se potom stáčí na jih. Po obci Roudný jsou obě varianty stejné, pouze se liší kategorií ([www.turnov.cz](http://www.turnov.cz)). Stavba měří 34,94 km a celkové náklady dle normativů činí 19,676 miliardy Kč.

#### b) Koridor 2 - jižní

Stavba začíná u Hoškovic na MÚK Mnichovo Hradiště s rychlostní silnicí R10. Odtud trasa pokračuje polem na jih, kde má stát MÚK Dobrá Voda. Trasa pokračuje MÚK Kněžmost a následně je vedena jižně podél silnice II/268. Poté následuje MÚK Horní Bousov se silnicí I/16. Trasa dále pokračuje jižně od silnice I/16 a severně od Dolního Lochova pokračuje tunelem (850 m) přes CHKO Český Ráj. Za Ohavčí je navržena MÚK Jičín-západ se silnicí I/16. Jižně od Čejkovic je navržena MÚK Jičín-jih. Stavba končí za MÚK Úlibice západně. Stavba měří 41,329 km a celkové náklady dle normativů činí 14,567 miliardy Kč.

### c) Koridor 3 - superseverní

Stavba začíná na MÚK Rádelský Mlýn. Následně pokračuje v trase silnice I/65, pak následuje MÚK Rychnov, za kterou se trasa odklání a pokračuje severovýchodně kolem Rychnova, následuje tunel (1350 m) ústící u Mukařova, u Skuhrova tunel (210 m), most (520 m), tunel (2250 m), MÚK Železný Brod se silnicí I/10. Další dva tunely (2130 m) a (1030 m). MÚK Proseč, která je situována východně od obce. Trasa jihovýchodně míjí Semily a dále je vedena v souběhu s železniční tratí. Severovýchodně od Lomnice je navržena MÚK Lomnice, dále pokračuje na jih v souběhu se silnicí II/268 (3 tunely a 3 mosty), dále je MÚK Železnice. Trasa severně míjí Studeňany a končí na MÚK Úlibice. Stavba měří 44,367 km a celkové náklady dle normativů činí 36,874 miliardy Kč.

V březnu 2012 Atelier T-plan zpracoval územní studii, která doporučila k dalšímu sledování severní variantu. V únoru 2014 Valbek zpracoval technickou studii na celou trasu v úseku Turnov - Úlibice s cílem nalézt ekonomicky nejefektivnější trasu z hlediska směrového a šířkového uspořádání při respektování zájmů ochrany životního prostředí ([www.turnov.cz](http://www.turnov.cz)).

# Pelešanský sesuv

## *I. Historie Turnova a blízkého okolí*

Oblast kolem řeky Jizery byla hojně osídlována už v daleké historii. Najdeme zde mnoho archeologických nalezišť od neolitického osídlení (5. tisíciletí př. n. l.) až po dobu římskou (Mráz, 2009) se zbytky středověkého hradu.

První zmínka o Turnovu je z r. 1238, kdy král Václav I. vydal listinu, na níž je ověřující podpis Jaroslava z Hrušnice, který v roce 1262 působil jako hradní správce v Mladé Boleslavi. V roce 1260 byl nad dnešní obcí Pelešany založen hrad Valdštejn, díky kterému vznikala nová stavení okolo hradu. O turisty hojně navštěvované místo se v 19. století postarali Lexové z Aehrenthalu, kteří propojili krajinu sítí turistických cest, budovali vyhlídky a lázně Sedmihorky. Jako zajímavý turistický cíl zpřístupnili hrad Valdštejn mezi prvními památkami v ČR ([www.cesky-raj.info](http://www.cesky-raj.info)).

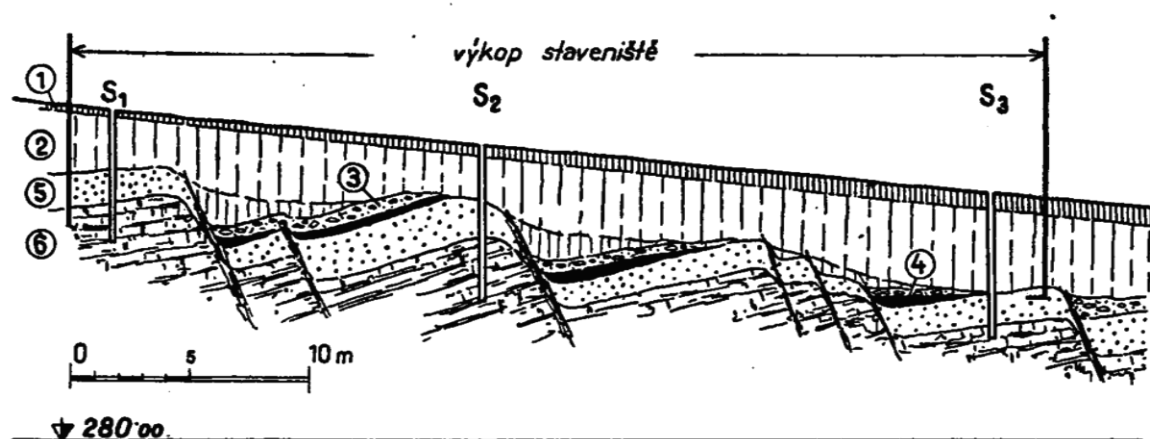
## *Archivní dokumentace sesuvů v oblasti Turnova*

Záruba (1946) provedl v Turnově rozsáhlý geologický průzkum a vytvořil několik geologických profilů. Ve sborníku „Plánujeme Turnovsko“ objevil a popsal čtyři turnovské terasy (které vznikly při postupném prohlubování jizerského údolí v plistocenu), řadu fosilních i recentních sesuvných pohybů půdy a určil místa geologicky nevhodná ke stavebním účelům (obrázek 5).

*„.....Pokryvné útvary na Turnovsku jsou značně postiženy sesouváním půdy, zejména tam, kde podloží pokryvných útvarů tvoří slinité jíly X. pásma. Náchylnost k sesouvání těchto slinitých jílů je způsobena jejich složením a nepříznivými fyzikálními vlastnostmi. Při změně obsahu vody vykazují značné objemové změny, za sucha se smršťují, za vlhka bobtnají, v zimě namrzají a za jarního tání rozbředají. Při tom mají vysokou absorpční schopnost, takže jímají značné množství vody a citlivě reagují na klimatické změny. Můžeme říci, že slinité jíly jsou velmi neklidnou horninou a neklidný je i povrch území, zejména svahy, které tato hornina tvoří. Sesouvání půdy je proto rozšířeno hlavně ve východní a jihovýchodní části města, v údolí Stebénky a Libuňky (obrázek 6). Hlubokými sesuvy je rozbrázděn zejména jižní svah údolí Stebénky mezi Durychovem a Chlomkem, jižní svah údolí Libuňky mezi Mašovem a*

*Pelešany i protější svah Na Kamenci. .... Na Turnovsku zjistil jsem vedle recentních sesuvů velmi staré pohyby půdy, k nimž došlo v mladším pleistocénu. V některých umělých odkryvech, například v pískovně nad Mašovem a v nové pískovně u Kalužníku jsou patrné staré pohyby podle stupňovitých dislokací, které zasahují i do písčitého štěrku, při čemž tyto stupně jsou při povrchu území vyrovnány sprašovými hlínami....“ (Záruba, 1946)*

Další autoři J. Fencel a O. Zeman v roce 1962 popsali, že zátrhy v odlučné oblasti jsou vysoké až 8m a odtrhy mezi až 2m. Sklon svahu je 10°–15°. Akumulační valy jsou i v údolní nivě vysoké 3 - 6m. Dne 26. 6. 1962 popsali posunutí skruží studny o 3cm a zdeformování štětovnic značky „Union“.

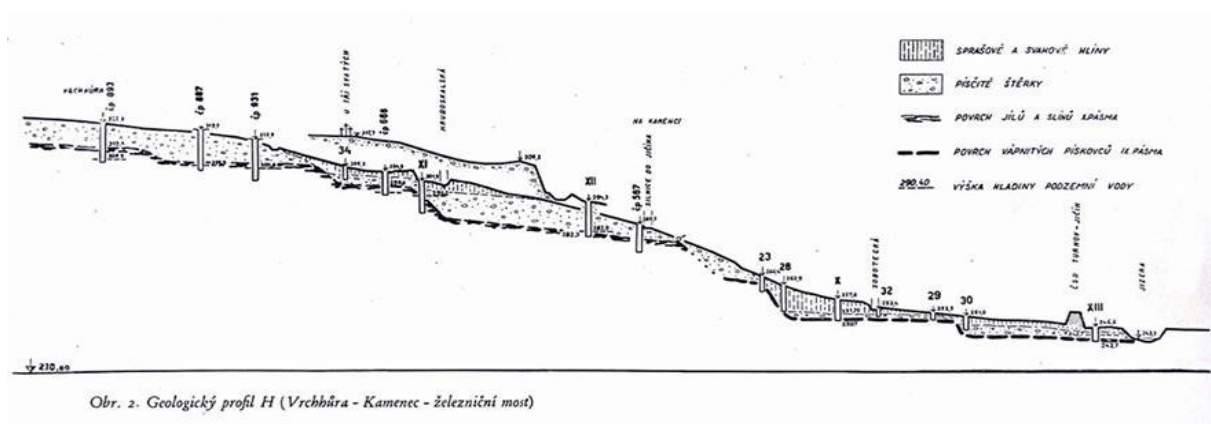


2. Fossilní kerný sesuv na severním svahu Stébénky. 1 — podzolový půdní profil schem., 2 — sprašové hlíny, 3 — plistocenní štěrky s čedičovými valouny, 4 — zelené glaukonitické písky, 5 — rozpadavé pískovce, 6 — pevné slinité pískovce deskovité.

Obrázek 6: Fossilní kerný sesuv na severním svahu Stébénky (Záruba, 1952)

## II. Geologie oblasti Turnova

Podle dostupných záznamů popisované lokality jsou místní geologické poměry dosti složité. Geologické profily interpretují nehomogenní prostředí, které je tvořeno kvádrovými pískovci, písčitými slínovci a jílovci, šterkopískovými terasami, sprašovými pokryvy, nevápnitými nivními uloženinami a svahovinami (obrázek 10, tabulka 1). Dochází zde ke kolísání hloubky skalního podkladu pískovců. Ty jsou různě zvětralé, lavicovitě či deskovitě odlučné, s vápnitým tmelem či jemnozrnnou frakcí, s polohami tvrdých vápnitých konglomerátů. Mocnost tohoto souvrství dosahuje až 30 m. Pod pískovci se hlouběji v geologickém řezu vyskytují podložní slínovce jizerského souvrství, které zasahují až pod úroveň současného toku Libuňky. Převážně svahové sedimenty jsou reprezentovány různě se střídajícími a zřejmě i svahovými pohyby rozvlečenými polohami jílu, písčité hlíny, hlinitého písku, hlinitého šterku, písčitého šterku, sprašové hlíny, slínu (obrázek 7).



Obrázek 7: Geologický řez protějším svahem od Pelešan – Vrchhůra, Kamenec, železniční most (Záruba, 1946)

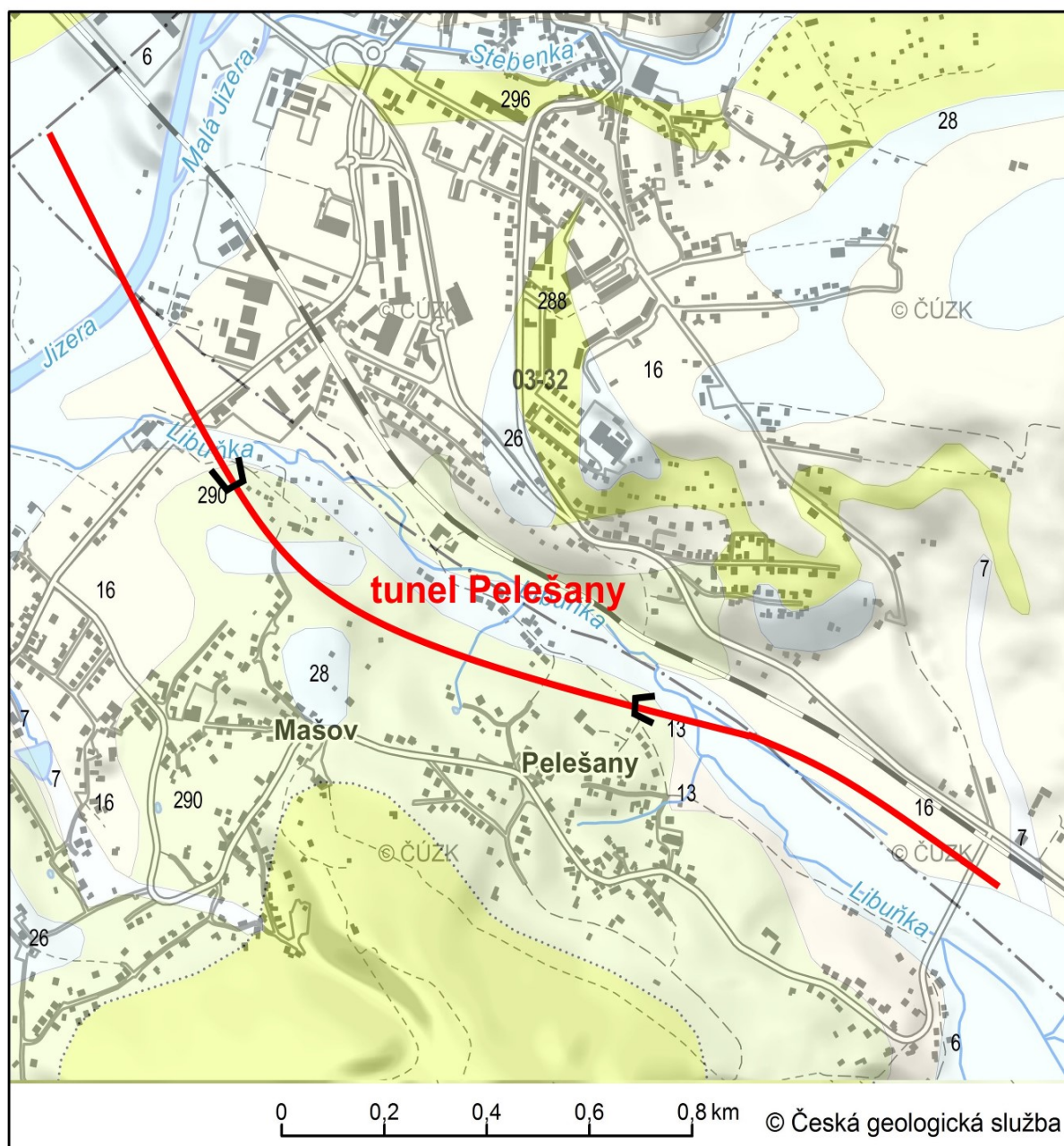
a) Geologie zkoumaného svahu

V daném území bylo provedeno velice málo vrtů, které jsou situovány především na okraji sesuvu (obrázek 9, tabulka 2). Díky tomu máme alespoň částečnou představu o geologické složitosti území. Nacházejí se zde převážně hlíny, jíly, jílovce, slíny, slínovce, písky, pískovce a nivní sedimenty (obrázek 8, tabulka 1). Svahové podloží je především stáří svrchního turonu a coniaku, což dokazují vrty J-1 a J-2 (číslo 3 na mapě), kde byly zjištěné

slínovce, které prokazují blízké stratigrafické rozhraní coniaqu (pískovec) a svrchního turonu (slínovce). Dochází zde ke kolísání hloubky skalního podkladu pískovců a to od jihozápadu k severovýchodu.

Z map 1:25 000 lze o dané lokalitě říci, že se zde nachází opuštěný lom, svahové deformace, úvalové údolí, erozní svah, odtrhová hrana sesuvu a na horní straně svahu jsou pseudozávrty (denudační hrana je ve výšce 600 - 650 m.n.m.). Nacházíme zde několik typů půd a to podzol, luvizem, pseudogleje a fluvizem.

Aktivita  $^{137}\text{Cs}$  je  $1\text{ kBq/m}^2$  – tedy nízká. Spodní část území je v oblasti zvýšeného rizika záplav, v chráněném ochranném pásmu a III. zóně. Dále se území částečně nachází v regionálním biocentru a regionálním koridoru. Radonový index je nízký až přechodný s tektonickou linií ([www.geologicke-mapy.cz](http://www.geologicke-mapy.cz)).



křída

jizerský vývoj, hejšovinský vývoj, lužický vývoj

288 křemenné pískovce, podřízeně štěrťikové pískovce

jizerský vývoj, orlicko-žďárský vývoj

296 pískovce vápnito-jílovité, glaukonitické

ohárecký, labský, lužický vývoj, jizerský vývoj, orlicko-žďárský vývoj

290 vápnité jílovce, slínovce a prachovce, podřadně vložky jílovitého vápence

kvartér

28 písek, štěrk

16 spraš a sprašová hlína

13 kamenitý až hlinito-kamenitý sediment

7 smíšený sediment

6 nivní sediment

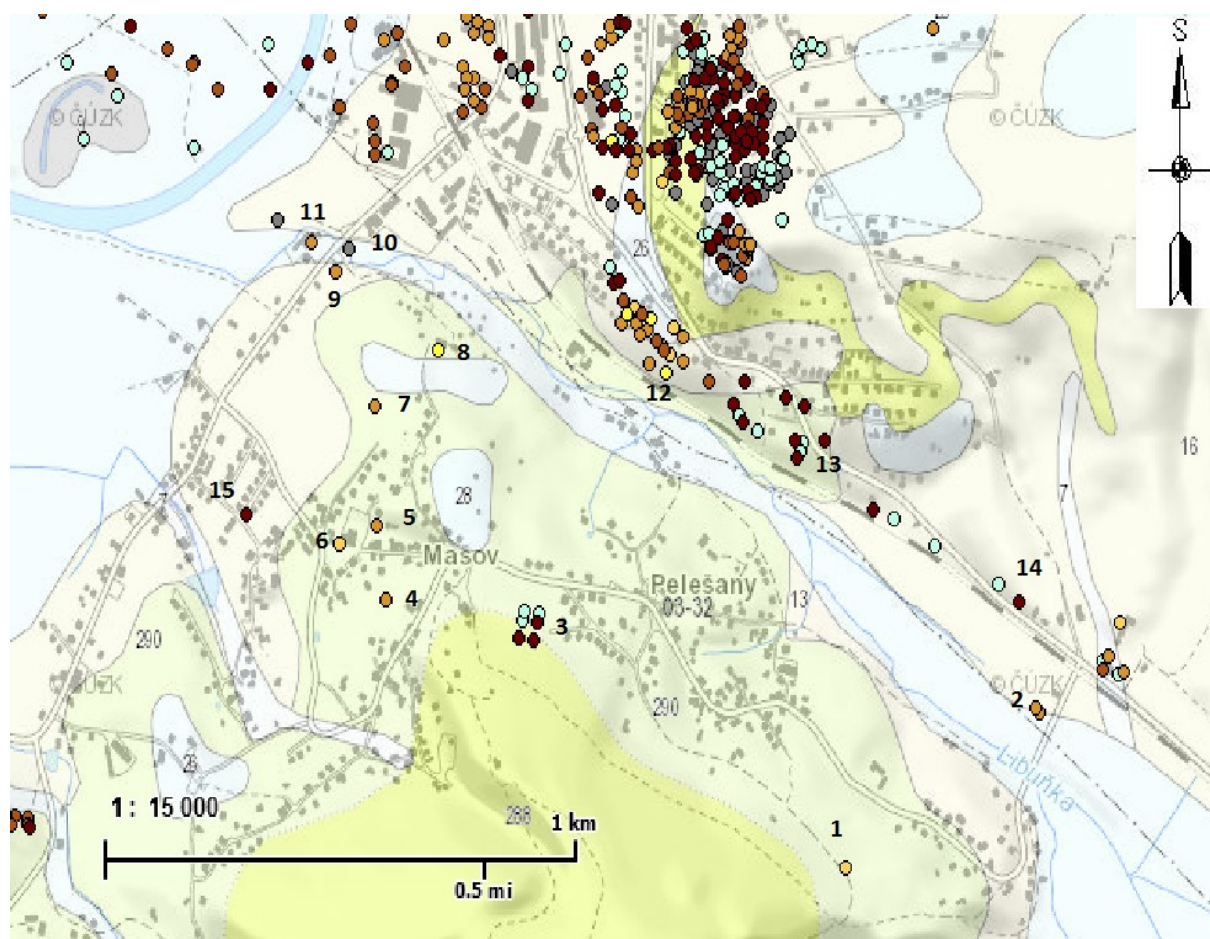
Obrázek 8: Geologická mapa zájmové oblasti ([www.geology.cz](http://www.geology.cz))

## Legenda

Název	ID	Eráté m	Útv ar	Oddělen í	Stupeň	Podstup eň	Souvrst ví	Horniny	Typ hornin	Mineralogické složení	Zrnitost	Barva	Regio n	Jednotka	Sousta va
<b>vápnité jílovce, slínovce a prachovce, podřadně vložky jílovitého vápence</b>	290	mezozoikum	Křída	křída svrchní	turon, coniac	turon svrchní, coniac spodní	teplické	jílovec vápnitý, slínovec, prachovec	sediment zpevněný	vápnitý			česká křídová pánev	ohárecký, labský, lužický, jizerský, orlicko-žďárský vývoj	Český masiv - pokryvné útvary a postvariské magmatity
<b>křemenné pískovce, podřízeně štěrčíkovité pískovce</b>	288							pískovec křemenný		křemen				jizerský, hejšovinský, lužický vývoj	
<b>písek, štěrk</b>	28	kenozoikum	kvartér	pleistocén	pleistocén spodní			písek, štěrk	sediment nezpevněný	pestré	písek, štěrk	šedohnědá až rezavá			
<b>spraš a sprašová hlína</b>	16				pleistocén svrchní			spraš, sprašová hlína		křemen + příměsi + CaCO <sub>3</sub>		okrová			
<b>kamenitý až hlinito-kamenitý sediment</b>	13							kamenitý až hlinito-kamenitý sed.		pestré	kamenitá až hlinito-kamenitá	různá			
<b>nivní sediment</b>	6			holocén				hlína, písek, štěrk							

Tabulka 1: Legenda k obrázku 4 ([www.geology.cz](http://www.geology.cz))





Legenda:

Hloubka hornin pod kvartérem

● 0,00 m - 1,00 m

● 1,01 m - 2,00 m

● 2,01 m - 4,00 m

● 4,01 m - 6,00 m

● 6,01 m a více

Kvartér v celé hloubce vrtu



Vrt bez litologických dat



Obrázek 9: Mapa vrtné prozkoumanosti ([www.geology.cz](http://www.geology.cz))

### Legenda

Označení v mapě	Číslo geologicky dok. objektu	Jméno	Rok	Hloubka (m) / Hloubka kvartéru ve vrtu	X	Y	Nadmořská výška	Účel	Profil vrtu	Hydrogeologická data	První hornina pod kvartérem
1	686079	RV-2	2006	6 / 1,8	996871,5	683226	302,6	IG	Ano	Ne	eluvium
2	83606	TP-1	1983	22 / 4	996597	682813,2	250,35	HG	Ano	Ano	jílovec
	83607	TP-2	1983	90 / 4	996589,7	682820,1	250,1	HG	Ano	Ano	jílovec
3	632960	J-1	2000	10 / 8,9	996472	683887	317,6	IG	Ano	Ne	písek
	632961	J-2	2000	10,5 / 10,3	996466	683920	317,8	IG	Ano	Ne	Pískovec
	632 962	J-3	2000	11,2 / 10,8	996441	683879	309,9	IG	Ano	Ne	slín
	632963	J-4	2000	10 / -	996434	683913	310,8	IG	Ano	Ne	-
	632964	J-5	2000	10 / -	996423	683876	308,5	IG	Ano	Ne	-
	632965	J-6	2000	8 / -	996418	683906	308,8	IG	Ano	Ne	-
4	82415	S-2	1972	7 / 3,6	996400	684200	295	IG	Ano	Ne	slín
5	82416	S-4	1942	5,3 / 4	996270	684220	287	IG	Ano	Ne	hlína
6	82313	V-13	1973	6 / 2	996300	684300	275	IG	Ano	Ne	pískovec
7	82311	V-10	1973	8,2 / 2,6	996060	684225	275	IG	Ano	Ne	slín
8	82310	V-8	1973	7 / 0,6	995960	684090	270	IG	Ano	Ne	slín
9	82628	V-3	1982	7,8 / 4	995820	684310	245,9	IG	Ano	Ne	slín
10	82629	V-4	1982	7,5 / -	995780	684280	245,8	IG	Ne	Ne	-
11	82626	V-1	1982	7,7 / 3,7	995770	684360	247	IG	Ano	Ne	slín
12	561761	J- 5	1990	10 / 3,3	995911,3	683671	269,1	IG	Ano	Ne	slínovec
13	83893	V-209	1988	13,5 / 7,6	996148	683327	257,8	IG	Ano	Ne	slín
14	561772	J-16	1990	5 / -	996305,9	683034,8	251,9	IG	Ano	Ne	-
15	82312	V-12	1973	10,3 / 7,5	996250	684500	261	IG	Ano	Ne	hlína

Tabulka 2: vrtná prozkoumanost ([www.geology.cz](http://www.geology.cz))

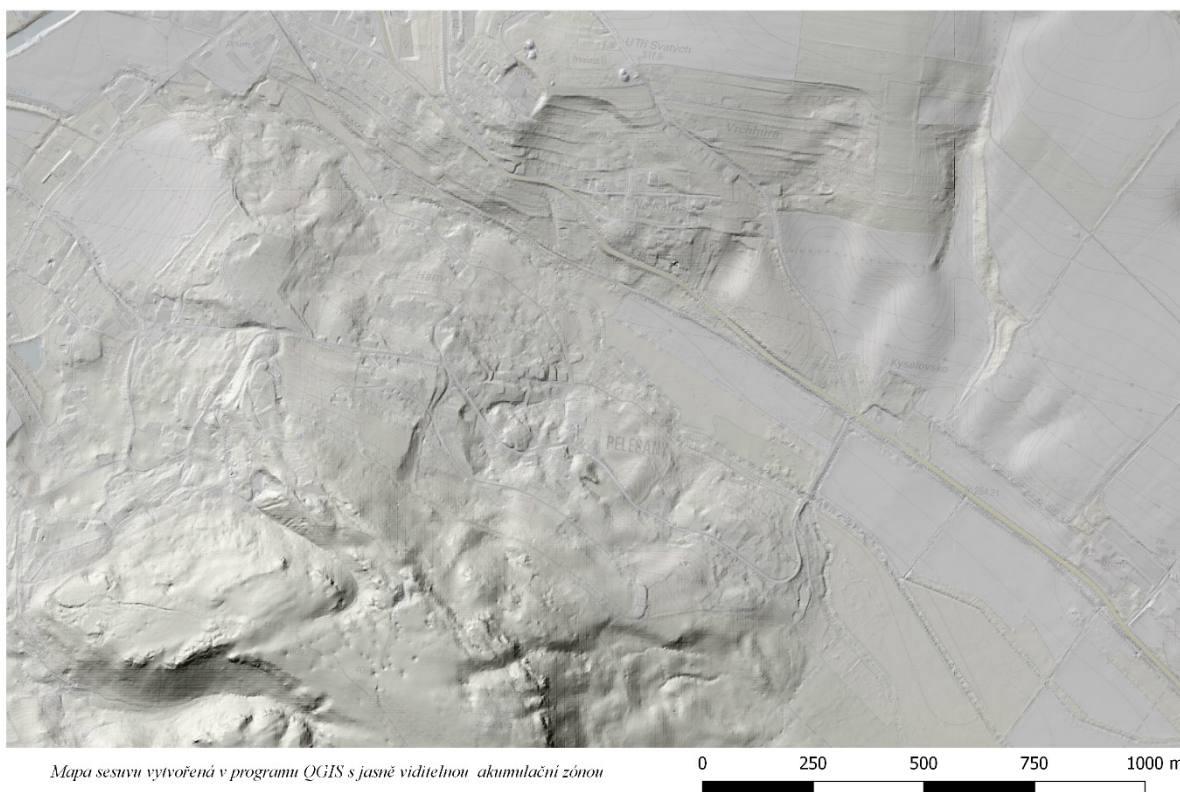
## b) Vymezení sesuvného území

Při prvním pohledu na svah každého jistě zaujme mohutný pás pískovcových skal, které vystupují zpoza stromů a lemují horizont celého kopce. Svah je prostoupen terasovými zahrádkami s baráčky a dokonalost celému obrazu dodává řeka Libuňka, která lemuje údolí a odděluje město od vesnice (obrázek 10, 11). Při pozornějším zkoumání lze usoudit, že terasovité zahrádky, dnes již částečně upravené lidskou činností, zde původně vznikaly několika-násobným sesunutím svahu a akumulární zóna sesuvu se nachází na břehu řeky.

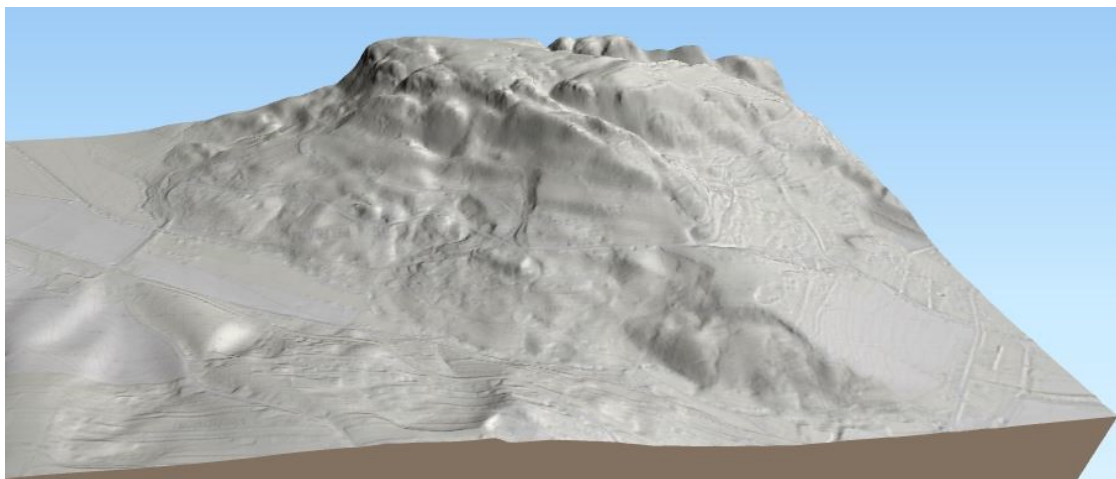
Obec Pelešany leží v katastrálním území Mašov u Turnova o výměře 6,7 km<sup>2</sup>. Sesuvné území se nachází po celé délce vesnice Pelešany, Hamry a východní části obce Mašov v nadmořské výšce cca 245 až 282 m. n. m. Celková plocha sesuvu činí 606 404,2 m<sup>2</sup> (v nejdelším úseku měří 1 739,1 m a v nejširším úseku 514,5 m).

Dle registru Geofondu z roku 1962 je na zájmovém území registrováno jedno rozsáhlé sesuvné území označené jako aktivní sesuvné území č. 1354. Podle nového registru svahových nestabilit České geologické služby z roku 2009 je sledovaný svah rozdělen na dvě dočasně uklidněné plošné svahové nestability (list 03-32-23 (č. 2) a 03-32-23 (č. 15) mapy 1:10 000) Dle popisné kartičky ČGS u sesuvu č. 2 jde o dočasně uklidněný plošný sesuv (rotačně planární) v lese (čelo v zastavěné části Pelešany - Hamry) o délce 700 m a šířce 1800m. Povrch celého území je převážně suchý, stupňovitý, místy je zvlněný, muldovitý. Čelo deformace zasahuje do vodního toku potoka Libuňka. Ve spodní části jsou patrné výrazné výtlačné muldy. Odlučná hrana je výrazně vyvinuta a dosahuje výšky 15 m. Sesuv se nachází na svahu, který je orientován severozápadním směrem o sklonu 18 - 28°. Celá deformace je hluboce založená, a to kolem 10 a více metrů, materiál tvoří především svahoviny a skalní horniny či horninové bloky ([www. geology.cz](http://www.geology.cz)).

O existenci sesuvů svědčí i zpráva Mareše (1970), který píše, že svahy nevykazují podle povrchu terénu známky sesuvů, avšak je zde oprávněné podezření, že v tomto území došlo k pleistocénním sesuvům, které byly později zarovnány sprašovým pokryvem. O existenci blokových sesuvů svědčí skutečnost, že nelze v profilech výškově sjednotit horizont křídových jílovců a jemnozrnných vápnitých pískovců. Mocnost kvartérního pokryvu značně kolísá od 0,5 až do 11 m, což také poukazuje na pleistocénní blokové sesuvy.



Obrázek 10: Mapa zkoumané oblasti vytvořená v programu QGIS s jasně viditelnou akumulací zónou sesuvu



Obrázek 11: Pohled ze severu na svah vytvořený v programu QGIS 3D. Je zde vidět odlučná plocha a akumulací zóna celého sesuvu

### c) Hydrogeologie Pelešan a okolí

Obce Pelešany a Mašov jsou řazeny do hydrogeologického rajonu 442, který zasahuje do území Libereckého kraje pouze okrajově a zaujímá plochu střední části povodí Libuňky a Žehrovky (obrázek 12).

Řeka Libuňka pramení zhruba 2 km severovýchodně od Libuně ve výšce 408 m n. m. a ústí zleva do Jizery v Turnově ve 243 m n. m. Plocha povodí má 100,6 km<sup>2</sup>, délka toku je 19,9 km, průměrný průtok u ústí je 0,79 m<sup>3</sup>/s. Jedná se o vodohospodářsky významný tok se pstruhovou vodou, většina toku je na území CHKO Český ráj. Je to tok relativně přirozeného charakteru, místy regulovaný, protékající většinou otevřenou krajinou s břehovými doprovodnými dřevinami (prvk.kraj-lbc.cz). Přesnou hladinu podzemní vody lze těžko stanovit. Místní obyvatelé mají vodu v hloubce okolo 4 m – 10 m (Dle informací z vrtu TH-3 je hladina vody v 4,4 m a ve vrtu HV-2 je hloubka v 5,6 m)

V rajónu jsou tři víceméně samostatné kolektory podzemních vod křídového stáří (hydro.chmi.cz):

- Bazální kolektor A je vázán psamity a aleurity cenomanského stáří.
- Střední kolektor C je vázán psamity a aleurity turonského stáří.
- Kolektor D coniackého stáří je vázán psamity.

Kvartérní kolektor je v hydraulické souvislosti s kolektorem D a není samostatně bilancován. Bazální souvrství spodního turonu a souvrství svrchního turonu mají funkci izolátoru.

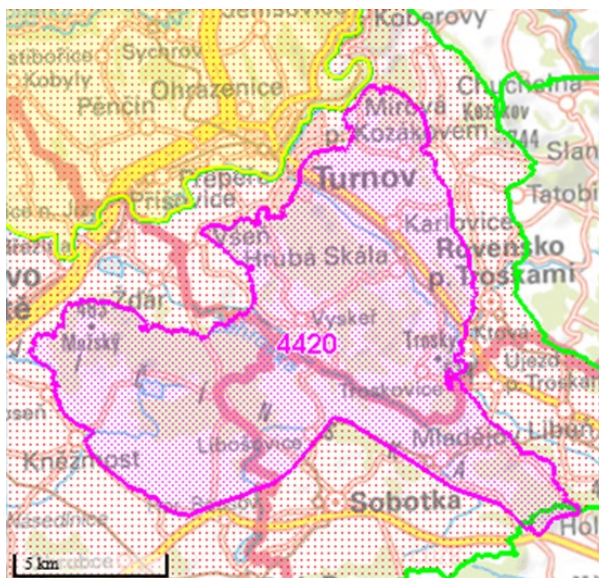
Propustnost kolektoru A, C a D je puklinově průlinová. Přírodní zdroje se tvoří na ploše rajónu přetékáním z nadložního kolektoru D, z jehož bilance jsou odečteny.

Chemické složení podzemních vod kolektoru A je typu Ca – Na – HCO<sub>3</sub>, s celkovou mineralizací v průměru 250 mg/l a pro vodárenské využití vyžadují většinou jednostupňovou separaci železa, lokálně zvyšování HCO<sub>3</sub> iontů.

Chemické složení podzemních vod kolektoru C je obdobné jako kolektoru A s mineralizací 500 – 600 mg/l. Pro vodárenské využití je nutná úprava odželezňováním.



V rajónu je vodohospodářsky zajímavý pouze kolektor D. Podle SVHB (1987) je odběr v rajónu 30 l/s.



#### d) Tektonické poměry a seismická aktivita

Libuňský zlom se táhne od severozápadu k jihovýchodu a dá se říct, že kopíruje řeku Libuňku. Odděluje výšiny troskovickou a hruboskalskou od Turnovských skal. Příšovický zlom se táhne od severovýchodu po jihozápad a prochází údolím řeky Jizery.

27

Ve smyslu ČSN EN 1998-1, Tabulka 3.1. - Typy základových půd se v celé trase vyskytuje typ A základové půdy. Podružně, kdy mocnost pokryvných útvarů přesahuje cca 10 m, se vyskytuje také typ B základové půdy. Podle mapy seismických oblastí ČR, obr. NA.1 ČSN EN 1998-1, lokalita náleží do okresu Semily, který je definován referenčním zrychlením základové půdy  $a_{gR}$  0,03 g.

*pozn.:* podle NA 2.8. článku 3.2.1. výše uvedené normy se za případy velmi malé seismicity, kdy není třeba dodržovat ustanovení ČSN EN 1998-1, v ČR považují takové oblasti, kdy hodnota  $a_gS$ , použitého pro výpočet seismického zatížení, není větší než 0,05g).

### *III. Pelešanský tunel*

Protože se trasa rychlostní silnice R35 od Jičína přibližuje ke svahům Hruboskalska údolní nivou Libuňky, je přechod elevace řešen tunelem. Plánovaný tunel je veden pod obcemi Mašov, Hamry a Pelešany (obrázek 13). Z archivních průzkumných záznamů a studií se o Pelešanském tunelu nedozvíme téměř nic. Dle informací ŘSD (ředitelství silnic a dálnic) má být tunel dlouhý 1380 m, podle informací města Turnova z roku 2015 má délka tunelu být 800 m. Tunel má být řešený jak hloubením, tak ražením.

#### *Ražená část tunelu:*

Ražený tunel je naplánovaný od 3,200 km do cca 3,600 km. Mocnost nadloží se pohybuje v rozmezí od 6,1 - 18,2 m. Mocnost podloží se pohybuje v rozmezí od 26 – 27 m v ose komunikace.

#### *Hloubená část tunelu:*

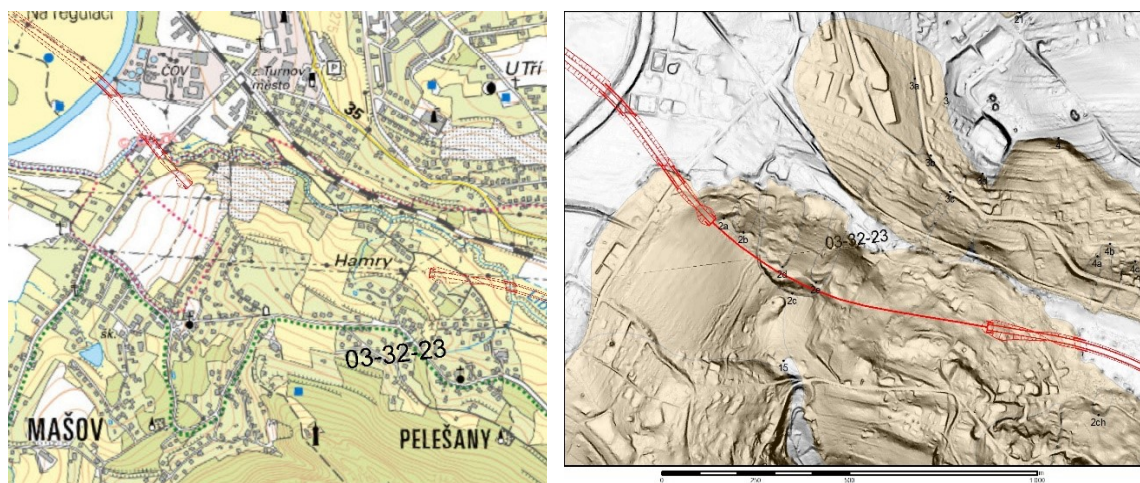
Hloubený tunel je naplánovaný od 3,600 km do 4,100 km. Mocnost nadloží se pohybuje v rozmezí od 3,3 - 7,3 m. Mocnost podloží se pohybuje v rozmezí od 24 - 26 m v ose komunikace.

Území a jeho značné postižení svahovými pohyby představuje těžké geologické podmínky pro ražbu a dokončení či udržení projektu tunelu (tabulka 3). Další úseky plánované trasy R35 mimo Pelešanský tunel procházejí stabilním územím. Podle Malíka (2015) je západní i východní portál tunelu navržen do svahové nestability a celá trouba tunelu

je vedena v akumulční oblasti svahu. Odlučná hrana svahové nestability dosahuje kolem 7 - 8m.

číslo SN	druh SN	aktivita	stav mapování
2	komplexní SN	dočasně uklidněný	přemapovaná
2a	plošný sesuv	dočasně uklidněný	nová
2c	komplexní SN	dočasně uklidněný	nová
15	komplexní SN	dočasně uklidněný	přemapovaná

Tabulka 3: Svahové nestability, kterými prochází tunel Pelešany, (Malík, 2016)



Obrázek 13: Levý obrázek - Znázornění trasy Pelešanského tunelu na mapě ČGS. Pravý obrázek - Znázornění té samé oblasti v programu QGIS s viditelnými svahy (celá trouba tunelu je vedena územím svahových nestabilit ([www.geology.cz](http://www.geology.cz)))



### a) Východní portál

U východního portálu bylo provedeno fyzikální měření metodou ERT - elektrozistivitní tomografie též „multikabel“. Měření bylo provedeno tak, aby pokrylo celý východní portál tunelu (obrázek 14). Portál mělkého tunelu by měl být postaven v nadmořské výšce 260 m n. m. ve vzdálenosti cca 120 m od řeky (což je oblast, kterou by případná pětiletá, dvacetiletá ani stoletá voda neměla zasáhnout, obrázek 4). Portál by měl do oblasti vstupovat v akumulaci zóně sesuvu, tudíž se plánuje 140 m dlouhý zářez s nejhlubším místem 4m - 5m. Takové odlehčení svahu bez zabezpečení zářezu by s největší pravděpodobností vedlo k rozvoji dílčích svahových nestabilit (Malík, 2016).

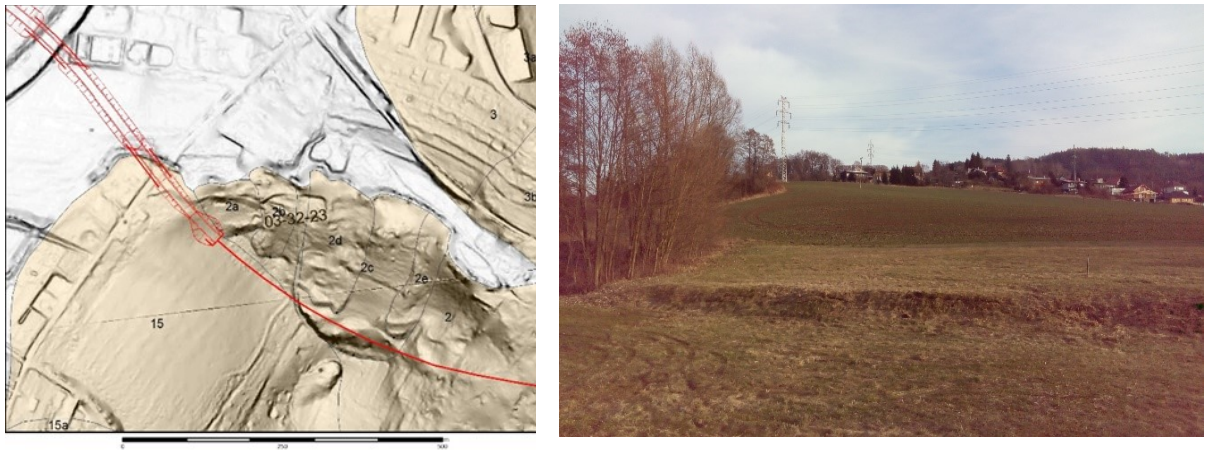
Na podzim roku 2016 byl východní portál posunut o cca 130 m východním směrem. Samotný portál by měl opět vyúšťovat do akumulaci zóny sesuvu, kde je plánovaný násyp pro niveletu silnice. Tato niveleta je však plánovaná v záplavové oblasti Libuňky a ohrozila by ji pětiletá, dvacetiletá i stoletá voda (obrázek 4, obrázek 14).



Obrázek 14: Znázornění východního portálu a profilů měření. Nahoře nové zakreslení portálu a dole původní zakreslení portálu.

## b) Západní portál tunelu

Na rozdíl od východního portálu vystupuje západní portál na rozhraní dvou svahových nestabilit, což naznačuje velké problémy se zabezpečením svahu a udržením neporušenosti trouby tunelu (obrázek 15). Portál se nachází daleko od vody a nezastihne ho ani stoletá voda. To se nedá říct o pokračování silnice přes řeku Jizeru, tam je niveleta silnice vedena v rozsáhlé záplavové oblasti a ohroží ji i pětiletá voda.



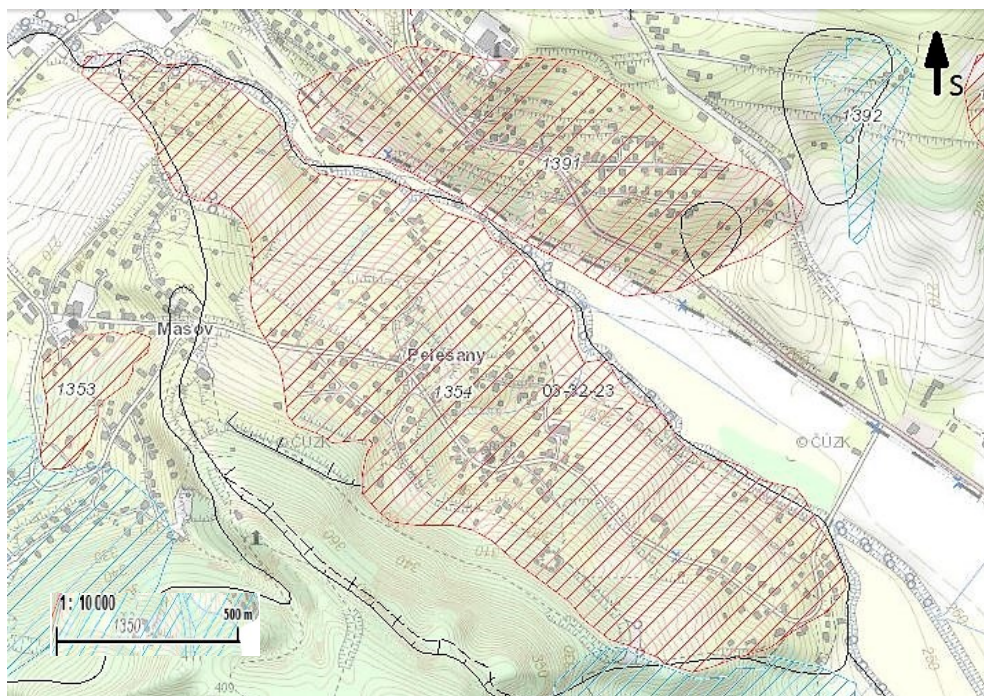
*Obrázek 15: Západní portál tunelu, který ústí na rozhraní svahových nestabilit. Na pravém obrázku je v levé části zachycena odlučná hrna druhého sesuvu*

# Mapování sesuvu Pelešany

Mapování sesuvného území jsem prováděla v březnu roku 2017, kdy byl sesuv dobře viditelný (obrázek 16). Jako mapový podklad sloužila katastrální a výšková mapa v měřítku 1:5000, kterou jsem získala z Českého úřadu zeměměřického a katastrálního. Do mapy jsem zakreslila všechny morfologické znaky, hranice sesuvu, odlučnou plochu, boční valy, akumulaciční oblast, dokumentační body aj. Geologickým kompasem jsem změřila směr a úhel sklonu pískovcových skal v odlučné oblasti sesuvu. Celkově jsem při mapování zaznamenala 13 vlastních dokumentačních bodů, které jsou přiložené v příloze diplomové práce. Mapování jsem prováděla sama. Řeka Libuňka měla dne 9. 3. 2017 teplotu 4,7°C, průtok 0,60 m<sup>2</sup>\*s<sup>-1</sup> a hloubku 75cm (hydro.chmi.cz).

Více v příloze:

1. Mapa geomorfologických tvarů sesuvu
2. Legenda k mapě geomorfologických tvarů sesuvu
3. Seznam dokumentačních bodů
4. Fotodokumentace dokumentačních bodů



Obrázek 16: Mapa pelešanského sesuvu z webu ČGS (www.geology.cz)

# Měření pomocí ERT

## *I. Obecný popis elektrické odporové tomografie ERT*

Pomocí metody ERT lze zastoupit jak profilování, tak i sondování, protože výsledkem je 2D/3D vertikální (či horizontální) odporový řez. Nicméně uspořádání a způsob měření je podobný spíše odporovému profilování (OP), navíc výsledky jsou ovlivněny tomografickou inverzí, která převádí hodnoty zdánlivého měrného odporu na hodnoty odporu skutečného (Tábořík, 2012). Přesnější formulace je, že ERT kombinuje obě metody, které jsou časově náročné. S využitím multielektrodivého systému s řídicí, přepínací jednotkou a zpracováním pomocí výpočetní techniky je metoda ERT vysoce efektivní.

Elektrická odporová tomografie má z geoelektrických metod na sesuvném území nejširší uplatnění. Při měření se používá multielektrodivý kabel a na základě změřeného potenciálu na jednom páru elektrod a při průchodu stejnosměrného proudu na jiném páru elektrod se vypočte měrný elektrický odpor prostředí v hloubce úměrné vzdálenosti proudových elektrod. Výstupem je dvourozměrný řez s rozložením měrných odporů pod povrchem v ose měřeného profilu (Nemeton, 2015). V podstatě se jedná o rozmístění desítek či stovek elektrod (maximálně však 200 najednou zapojených elektrod, Tábořík, 2012) podél měřené linie se vzájemnou vzdáleností několika metrů. Elektrody jsou propojeny kabely a celý systém je řízen aparaturou, která podle zadaného schématu postupně spíná jednotlivé elektrody. To umožňuje získat data pro vertikální elektrické sondování i klasické profilování. Ve výsledku dostaneme informace o rozložení měřených hodnot zdánlivých měrných odporů, tak i o tvaru, rozměrech a hloubkách jednotlivých těles v řezu. Z profilů lze interpretovat geologickou stavbu podloží, pohřbené objekty a mnoho dalšího. Pro zapojení elektrod se používají tři typy uspořádání, a to dipól-dipól, Wenner-Schlumberger a Wenner alpha.

- Dipól-Dipól (D-D) (Dipole-Dipole) –

Jedná se o nejdetailnější metodu průzkumu, která je vhodná zejména pro detekci vertikálních struktur (např. úzké pukliny, rudní žíly) a různé dutiny. Má střední hloubkový dosah (okolo 1/5 vzdálenosti proudových elektrod (A, B)) a střední pokrytí okrajů profilu. Jedná se o metodu s vysokým rozlišením (schéma 1). Je důležité, že tato metoda je velmi citlivá na umělé zdroje elektrického šumu a zvýšenou přípovrchovou rezistivitu.



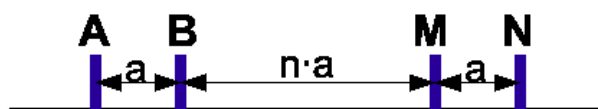


Schéma 1: Zapojení elektrod  $D-D$ ,  $A, B$  jsou proudové elektrody;  $M, N$  jsou potenční elektrody,  $a/n$  a je vzdálenost mezi elektrodami (scienceblogs.de)

- Wenner-Schlumberger (WS)

Je to všestranná a často používaná metoda průzkumu pro široké spektrum úkolů, speciálně pro horizontální a ukloněné vrstvy. Je schopna detekovat větší nehomogenity různých tvarů a směrů, které se výrazně liší svojí rezistivitou. Má střední hloubkový dosah (okolo  $1/5$  vzdálenosti proudových elektrod ( $A, B$ )) a střední pokrytí okrajů profilu. Je vhodná pro detailní průzkum mělkých struktur (schéma 2).



Schéma 2: Zapojení elektrod WS,  $A, B$  jsou proudové elektrody;  $M, N$  jsou potenční elektrody,  $a/n$  a je vzdálenost mezi elektrodami (scienceblogs.de)

- Wenner alpha (Wa)

Jedná se velmi rychlou metodu měření, která je podobná metodě Wenner-Schlumberger a má podobné uplatnění (schéma 3). Na rozdíl od předchozích metod má malý hloubkový dosah (okolo  $1/6$  maximální vzdálenosti proudových elektrod ( $A, B$ )) a malé pokrytí na koncích profilu. Rozlišení je poměrně nízké a je tak nevhodné pro detailní průzkum, zejména hlubších struktur. Na druhou stranu je rezistentní vůči elektrickému šumu.

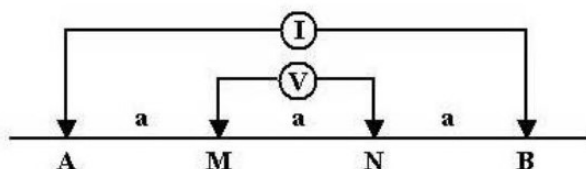


Schéma 3: Zapojení elektrod Wa,  $A, B$  jsou proudové elektrody;  $M, N$  jsou potenční elektrody,  $a/n$  a je vzdálenost mezi elektrodami (en.openei.org)

## II. Metodika měření ERT

Terénní geofyzikální měření bylo provedeno ve dne 20. září 2016 pod vedení pana ing. Dostálíka a ing. Malíka z ČGS (České geologické služby) pomocí multielektrodové odporové metody (ERT - electrical resistivity tomography), která umožňuje získat data s podstatně větší hustotou i kvalitou než u klasických postutů (což je dáno malou vzdáleností elektrod a striktně kontrolovanou geometrií měření). Tato metoda slouží k terénnímu měření zdánlivého měrného odporu hornin.

Vlastní měření bylo realizováno pomocí přístroje ARES II (který sdružuje ohmmetr, přepínací jednotku a počítač, obrázek 17) od firmy GF Instruments s.r.o. Data multielektrodového měření byla zpracována programem RES2DInv pro 2D inverzi do formy odporových hloubkových řezů. Pro grafický výstup byla použita 4. iterace (všechny grafické výstupy jsou přiložené v příloze této práce). Střední kvadratická chyba se u měření „dipól-dipól“ pohybovala v rozmezí 11,6% - 15,7% a u měření „Wenner-Schlumberger“ se pohybovala v rozmezí 3,0 % – 4,7%.

U všech profilů byla při interpretaci vynesena topografie terénu a také byla sjednocena odporová škála, aby bylo barevné rozčlenění geoelektrických řezů porovnatelné vzájemně mezi jednotlivými profily.



Obrázek 17: Zapojení přístroje ARES ([www.gfinstruments.cz](http://www.gfinstruments.cz))

### *Měření východního portálu*

Vhodnou lokalitu pro měření jsme zvolili na plánovaném východním portálu tunelu. Pro zjištění smykové plochy byla použita metoda multikabelu s aparaturou značky ARES II. Celkem byly provedeny 3 profily: 2 v severo-j jižním směru a 1 profil ve východo-západním směru s délkou profilu 144 m. Krok měření byl zvolen po 3 m se 48 elektrodami (poslední elektroda byla umístěna do vzdálenosti 141 m). Upořádání bylo pro první měření Wenner-Schlumberger (WS) a pro druhé měření dipól-dipól (D - D). Během měření nebyla vyřazena žádná elektroda a vše probíhalo bez komplikací. Paralelní profily byly vedeny ve vzdálenosti 10 m od sebe.

První profil překračoval mezi elektrodami v 15 m a 18 m cestu. Během kontrolního měření zde byly zjištěny velice velké odpory (v řádech tisíců), je to prisuzováno vybudovanému zářezu s navezeným štěrskem pro konstrukční vrstvu silnice (obrázek 18).

Rozdíl mezi jednotlivými uspořádáními je způsobený odlišností v principu postupného zapojování párů měřících a proudových elektrod. Rozdíl tedy vychází ze samotné podstaty uspořádání a z rozdílu v principu měření jednotlivých uspořádání. Ale samozřejmě je také ovlivněn různým algoritmem použitým při vyhodnocování naměřených dat a tedy je zatížen i různou chybou měření.

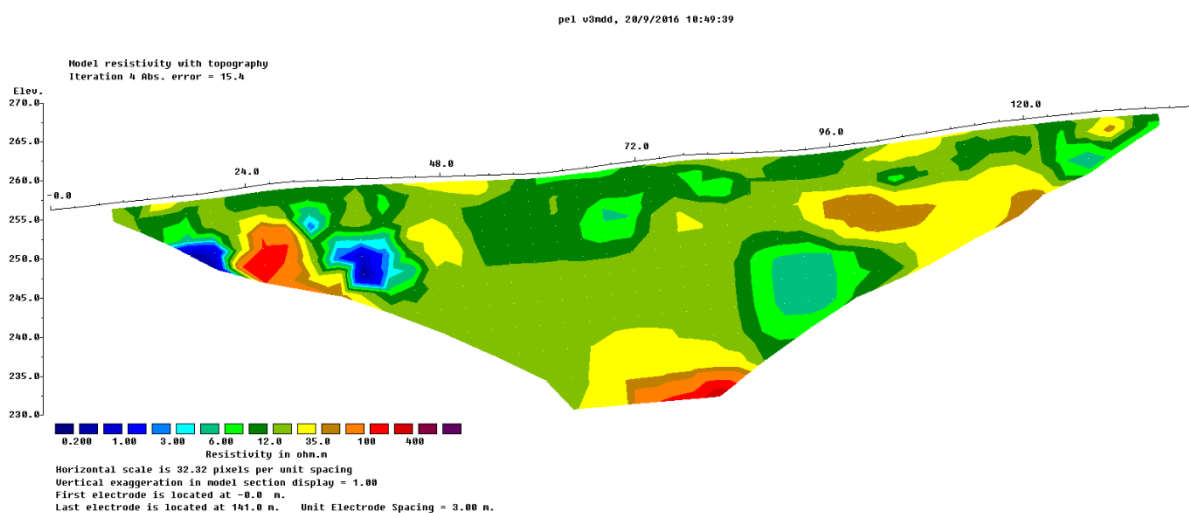


*Obrázek 18: Zakreslení profilů v terénu (www.mapy.cz)*

### III. Výsledky

Rozpětí zdánlivých měrných odporů je podle výsledků multielektrodové metody v rozpětí 0,1 – 450 ohmm, což je v souladu s přítomností dokumentovaných hornin a v souladu s dosaženou hloubkou měření. Neboť měrné odpory rostou úměrně s rostoucí hloubkou měření. Jílovité sedimenty nebo zvodnělé horniny vykazují obecně nízké měrné odpory řádu jednotek až prvních desítek ohmm. Na všech proměřených profilech, v hloubce okolo 15m byl naměřen vysoký zdánlivý měrný odpor (50 – 450 ohmm), což ukazuje na přítomnost skalního podloží. Pro interpretaci dat bylo využito měření D-D, a to konkrétně 4 iterace.

#### a) Profil P1



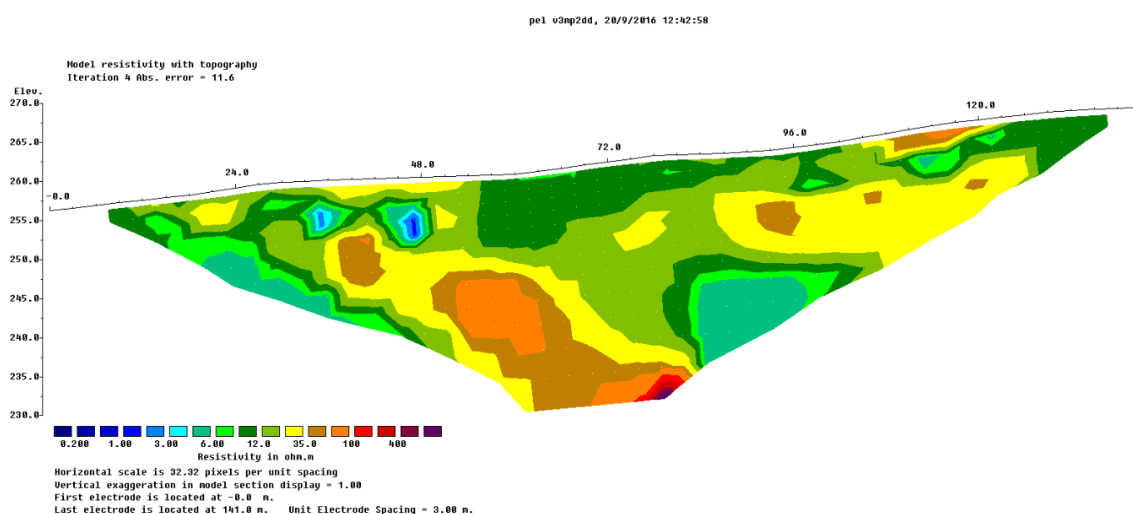
Obrázek 19: Grafický výstup profilu P1

Profil P1 (obrázek 19) byl roztažen přibližně na okraji předpokládaného tunelového portálu směřovaný od severu k jihu. Délka profilu byla 144 m s krokem měření po 3 m, aby se pokryla co největší plocha. Nejprve se měřilo uspořádání Wenner - Schlumberger (WS), vzápětí pak bylo na stejném profilu proměřeno uspořádání dipól - dipól (D - D). Výsledky obou uspořádání se mírně liší, což může být způsobeno rozdílným principem postupného zapojování párů měřících a proudových elektrod. Rozdíl tedy vychází ze samotného rozdílu v principu měřených jednotlivých uspořádání. Velikost střední kvadratické chyby u uspořádání WS je v rozmezí 4,0 % - 4,7 % a pro uspořádání D - D je hodnota 15,4 % – 15,7 %.



Z odporových řezů se dá určit hloubka skalního pokryvu, který se zde nalézá v hloubce 15 m a jehož zdánlivý měrný odpor je v rozmezí 35 - 400 ohmm. Dále se v levé části řezu nalézá výrazná anomálie s velice nízkými (0,2 ohmm) a vysokými odpory (120 ohmm). Tato anomálie může souviset se silnicí (která byla vybudována na násypu), přes kterou profil vedl, a se souvisejícím odvodněním silnice. Můžeme zde také předpokládat projev starého fosilního sesuvu, který způsobuje odporovou nehomogenitu prostředí, což dokazuje změna zdánlivého měrného odporu.

## b) Profil P2



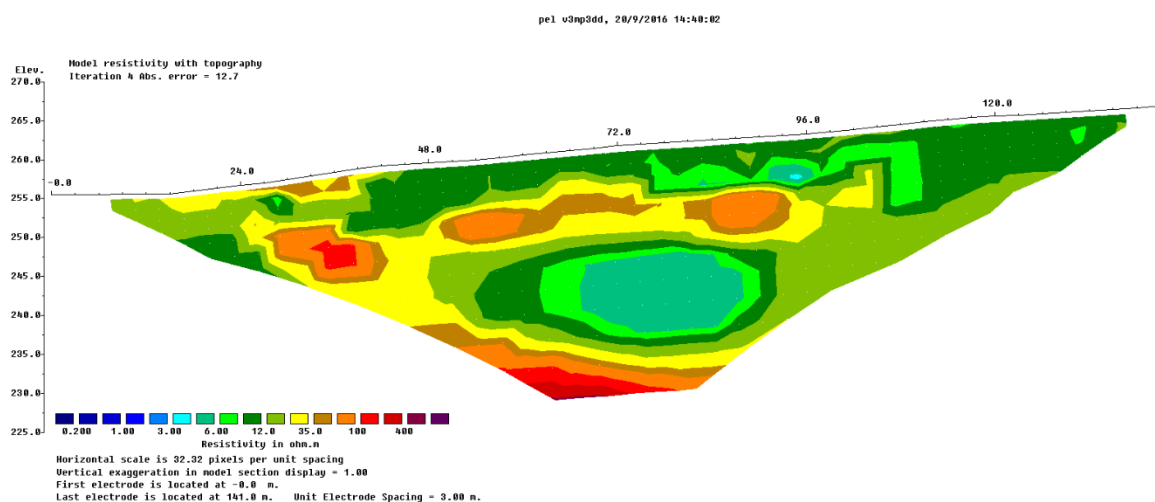
Obrázek 20: Grafický výstup profilu P2

Profil P2 (obrázek 20) byl roztažený zhruba na středu předpokládaného tunelového portálu směřovaný od severu k jihu. Délka profilu byla 144 m s krokem měření po 3 m a byl vzdálený 10 m od prvního měření. Nejprve se měřilo uspořádání Wenner - Schlumbergerovo (WS), vzápětí pak bylo na stejném profilu proměřeno uspořádání dipól - dipól (D - D). Výsledky obou uspořádání se mírně liší, což může být způsobeno rozdílným principem postupného zapojování párů měřících a proudových elektrod. Rozdíl tedy vychází ze samotného rozdílu v principu měřených jednotlivých uspořádání. Velikost střední kvadratické chyby u uspořádání WS je v rozmezí 3,0 % - 4,1 % a pro uspořádání D - D je hodnota 11,6 % – 12,0 %.

Na odporovém řezu se nachází několik anomálií. První se nalézá v levé části řezu s velice nízkými odpory (0,2 ohmm). Tato anomálie může souviset s odvodněním silnice, přes kterou profil vedl, nebo s nalezením koryta podzemní vody, která dotuje nedalekou řeku. Dále se dá určit hloubka skalního pokryvu, který se zde nalézá v hloubce 10 m a jeho zdánlivý

měrný odpor je v rozmezí 50 - 450 ohmm. Můžeme zde také předpokládat dva projevy starého fosilního sesuvu, které se vyznačují odporovou nehomogenitou prostředí.

### c) Profil P3



Obrázek 21: Grafický výstup profilu P3

Profil P3 (obrázek 21) byl rozložený kolmo na předešlé profily a protínal je v 70 m. Délka profilu byla 144 m s krokem měření po 3 m. Nejprve se měřilo uspořádání Wenner - Schlumbergerovo (WS), vzápětí pak bylo na stejném profilu proměřeno uspořádání dipól - dipól (D - D). Výsledky obou uspořádání se mírně liší, což může být způsobeno rozdílným principem postupného zapojování párů měřících a proudových elektrod. Rozdíl tedy vychází ze samotného rozdílu v principu měřených jednotlivých uspořádání. Velikost střední kvadratické chyby u uspořádání WS je v rozmezí 3,6 % - 3,9 % a pro D - D je hodnota 12,7 % - 13,3 %.

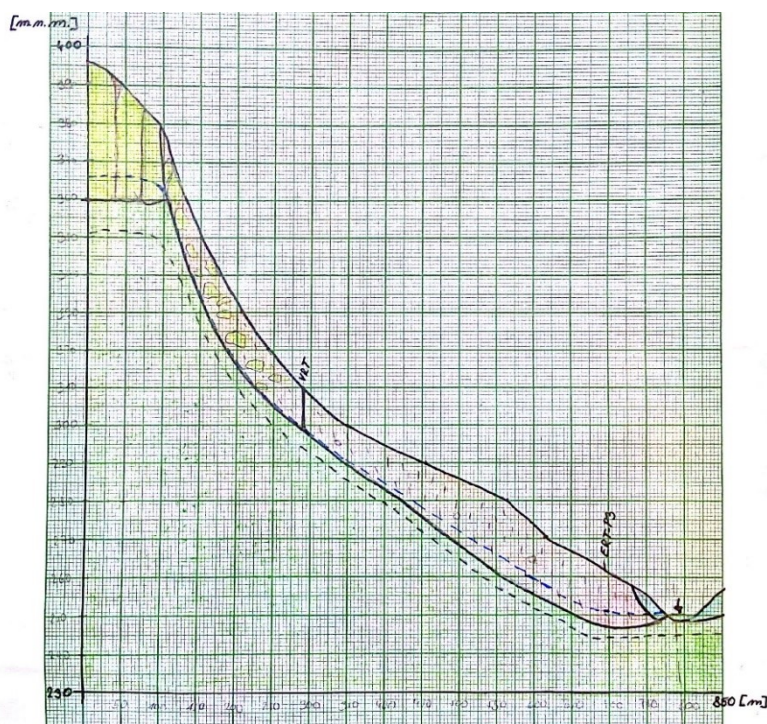
Z odporových řezů se dá určit hloubka skalního pokryvu, který se zde nalézá v hloubce 15 - 20 m a jehož zdánlivý měrný odpor je v rozmezí 35- 450 ohmm. Dále se v prostřední části řezu nalézá výrazná anomálie s odpory 35 - 100 ohmm, která může odpovídat nahromaděným šterkovitým materiálům (uložených při povodni) či pískovcům. Prvních 5m má odpory 6 - 12 ohmm, dá se tedy usuzovat, že se jedná o jílovitý hlinitý pokryv.

Viz. příloha č. 5 Grafické výsledky profilů měření ERT

# Stabilita svahu

## I. Zatřídění zeminy

Pro výpočet stability svahu bylo zapotřebí určit zeminu ve svahu. K tomu dopomohl vytvořený geologický řez vedený profilem AA' (viz Mapa geomorfologických tvarů sesuvu – příloha č. 1, obrázek 22). K určení zeminy posloužil vrt J3, který se nachází poblíž profilu, a měřené ERT profily, kterým AA' profil prochází.



Obrázek 22: Geologický řez profilem AA'

### Zemina nad vrtem:

- Kamenná frakce 70 -80%
- Jedná se o slabě hlinitý jemnozrnný až středně-zrnný písek
- Dle normy 731001 je zatřídění - jemnozrnná zemina písčítá **FS, S3**
- Dle zatřídění USCS se jedná o **SC**
- Dle normy 14688 je zatřídění – **grSa**

### Zemina pod vrtem:

- Kamenná frakce pod 20%
- Jedná se o směs hliněného písku a jemnozrnného slínu

- Dle normy 731001 je zatřídění - písek hlinitý nebo jílovitý **SF, S3**
- Dle zatřídění USCS se jedná o **ML**
- Dle normy 14688 je zatřídění – **grSa**

Zemina v podloží:

- Jedná se o slín se střední plasticitou
- Dle normy 731001 je zatřídění – **CL, F6**
- Dle zatřídění USCS se jedná o **CL**
- Dle normy 14688 je zatřídění – **siCl**

## II. Určení indexu plasticity

Pro určení indexu plasticity je zapotřebí zjistit hodnoty konzistenčních mezí. To jsou v podstatě hodnoty vlhkosti, při nichž má zemina danou neodvodněnou pevnost a k jejímu vyčerpání dojde při zkoušce. Před začátkem měření je nutné si připravit zeminu dle ČSN EN ISO/TS 17892-12 (ČSN 721007)).

### a) Mez plasticity

Jde o vlhkost zeminy, při níž se předepsaným způsobem drolí zemina na válečky. Z připravené pasty odebereme menší množství a v ruce hněteme do doby, než se na dlani začnou tvořit válečky o 3 mm. Poté ze zeminy vytvoříme kuličky o průměru 6 mm a z nich vyválíme (pomocí prstů u ruky a stálého tlaku) válečky o průměru 3 mm (10 - 15 cyklů). Vzorek má právě vlhkost na mezi plasticity, pokud se při dosažení průměru 3 mm začne drolit na válečky dlouhé 8 – 10 mm (tabulka 4).

Vzorek č.	<b>m<sub>n</sub> (g)</b>	<b>m<sub>1</sub> (g)</b>	<b>m<sub>2</sub> (g)</b>	<b>m<sub>wz</sub>(g)</b>	<b>m<sub>z</sub> (g)</b>	<b>m<sub>w</sub> (g)</b>	<b>W (%)</b>
1 - 0	24,0	30,5	29,5	6,5	5,5	1	18,182
2 - Z	24,4	32,0	31,0	7,6	6,6	1	15,152
2 – L3	25,6	33,0	32,0	7,4	6,4	1	15,625
2 – L7	22,4	29,3	28,5	6,9	6,1	0,8	13,115
<b>Wp</b>							<b>15,518</b>

Tabulka 4: Hodnoty pro určení meze plasticity

$m_n$  – hmotnost prázdné nádoby (g)  
 $m_1$  – hmotnost nádoby a vlhkého zkušební vzorku (g)  
 $m_2$  – hmotnost nádoby a suchého zkušební vzorku (g)  
 $m_{wz}$  – hmotnost vlhké zeminy (g)  
 $m_z$  – hmotnost suché zeminy (g)  
 $m_w$  – hmotnost odpařené vody (g)  
 $W$  – vlhkost (%)  
 $W_p$  – mez plasticity (%)

Vlhkost se vypočítá ze zkušebních vzorků a nesmí se lišit o 0,5 %. Ze získaných hodnot vypočítáme aritmetický průměr. Mez plasticity  **$W_p = 15,518 \%$** .

## b) Mez tekutosti

Jde o stav, kdy zemina přechází z plastického do tekutého stavu. Pro výpočet meze tekutosti se používají dvě zkoušky - Kuželová zkouška

### Zkouška v Casagrandeho přístroji

Já jsem si pro výpočet zvolila Kuželovou zkoušku. Kuželový přístroj je vybaven měřicím zařízením pro stanovení hloubky penetrace a kuželem váhy 60g při úhlu zkosení 60° (lze použít i kužel 80g / 30°). Penetrační rozsah 7 – 15mm s hloubkou penetrace při  $w_L$  10mm.

Připravená pasta se umístí do nádoby na měření a povrch se zarovná do hladka. Poté se nádoba vloží pod přístroj a kužel se umístí do těsného kontaktu se zeminou. Poté uvolníme kužel, který necháme ve spuštěné pozici  $5s \pm 1s$  a zaznamenáme konečnou hloubku. Poté doplníme zeminu a zarovnáme (přidá se vlhká zemina) Postup se opakuje nejméně třikrát za použití stejného vzorku, ale při různých vlhkostech. Pro stanovení vlhkosti se odebere vzorek. Výsledky se vynesou v semilogaritmickém zobrazení (vlhkost) vs (log penetrace). Vlhkost na mezi tekutosti se stanoví interpolací z regresní přímky. Pro kužel 60 g a 60°  $w_L$  odpovídá penetraci 10 mm (tabulka 5, graf 1).

Vzorek	mc (g)	m1 (g)	m2 (g)	m <sub>wz</sub> (g)	mz (g)	mw (g)	Penetrace (mm)	W (%)
<b>a</b>	235,4	421,7	372,9	186,3	137,5	48,8	14	35,491
<b>b</b>	261,9	563,6	494,2	301,7	232,3	69,4	13	29,875
<b>c</b>	219,7	399,7	359,5	180	139,8	40,2	11	28,755
<b>d</b>	208,9	366,7	334,4	157,8	125,5	32,3	10	25,374
<b>W<sub>L</sub></b>							<b>12</b>	<b>29,965</b>

Tabulka 5: Hodnoty pro určení meze tekutosti

$m_c$  – hmotnost prázdné nádoby (g)

$m_1$  – hmotnost nádoby a vlhkého zkušební vzorku (g)

$m_2$  – hmotnost nádoby a suchého zkušební vzorku (g)

$m_{wz}$  – hmotnost vlhké zeminy (g)

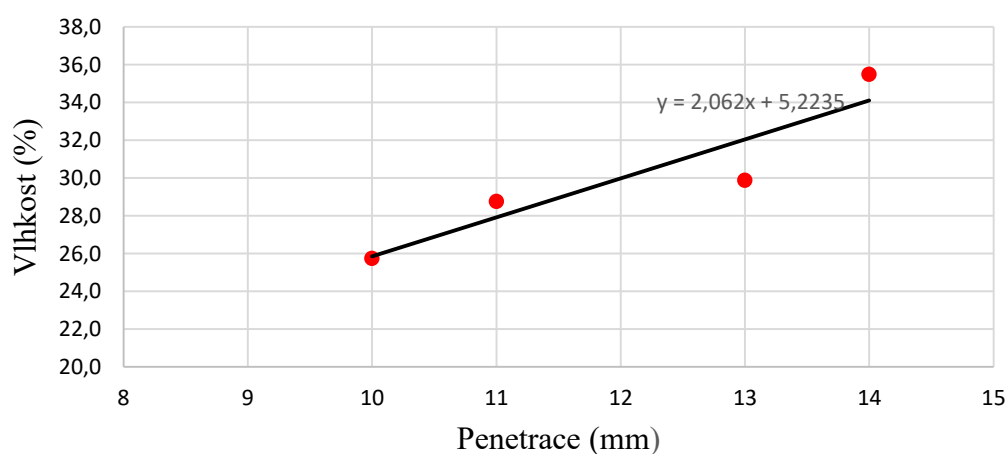
$m_z$  – hmotnost suché zeminy (g)

$m_w$  – hmotnost odpařené vody (g)

W – vlhkost (%)

$W_L$  – mez tekutosti (%)

Ze sestrojeného grafu se odečte vlhkost, která odpovídá 12 mm penetrace, a stanovíme mez tekutosti  **$W_L = 29,965 \%$** .



Graf 1: Graf závislosti penetrace a vlhkosti

Nyní je možné dopočítat index plasticity z rovnice:

[1]

$$I_p = w_L - w_P$$

$I_p$  – index plasticity

$w_L$  – vlhkost na mezi plasticity

$w_P$  – vlhkost na mezi tekutosti

Po dosazení hodnot ( $w_L = 29,965\%$  a  $w_P = 15,518\%$ ) do vzorce je hodnota  **$I_p = 14,447$**

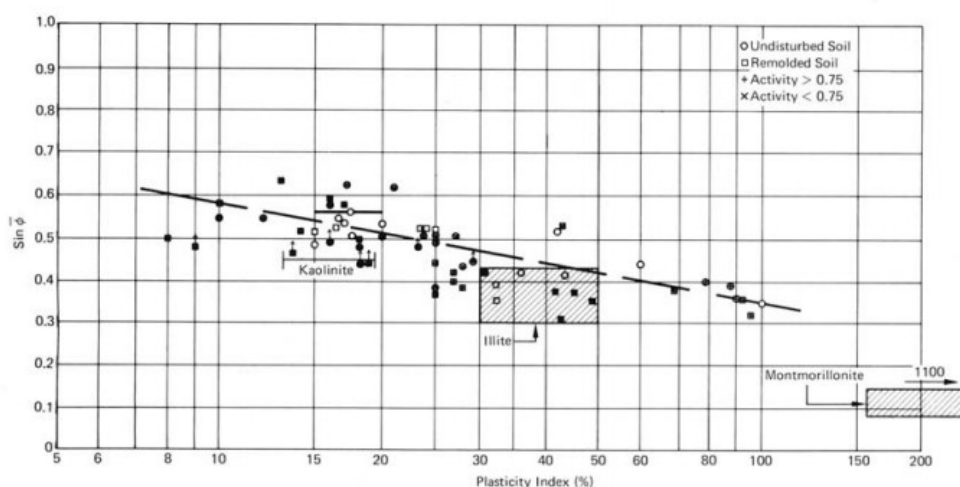
### III. Úhel vnitřního tření

Jedna z možností, jak získat hodnotu pro úhel vnitřního tření, je odečtením z grafu pro vztah mezi indexem plasticity a úhlem vnitřního tření (*Mitchell et. al., 2005; Soos et al., 2002*).

Pro hodnotu indexu plasticity vychází (graf 2,3):

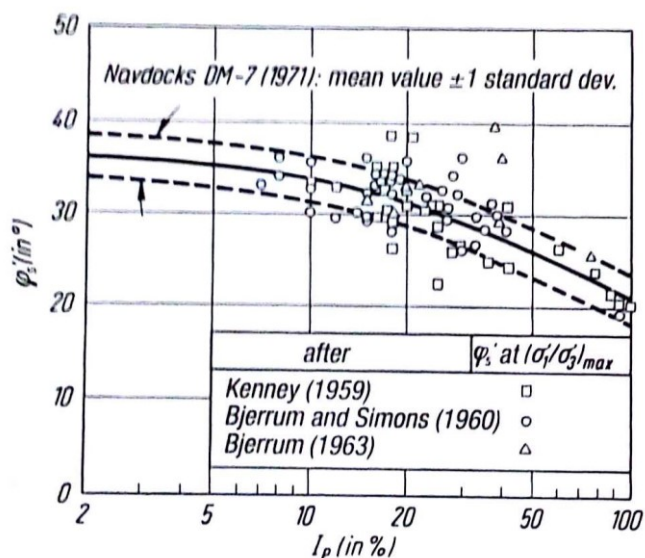
- pro graf podle Mitchella hodnota pro  **$\sin(0,55) = 33,37^\circ$**
- pro graf podle Soosa je hodnota  **$\phi = 33^\circ$**  kde  $\phi'_{cr} = f(I_p)$

Oba grafy potvrdily totožnou hodnotu, dá se tedy říci, že kritický úhel je roven  $33^\circ$ .



Graf 2: Vztah mezi úhlem vnitřního tření a indexem plasticity (*Mitchell et. al., 2005*)





Graf 3: Vztah mezi úhlem vnitřního tření a indexem plasticity (Soos et al., 2002).

#### IV. Výpočet stupně stability

V archivních dokumentech pro vrty provedené na okraji svahu najdeme záznam o výpočtu součinitele bezpečnosti zkoumaného svahu. Jedná se o vrty J1 – J6 (mezi dvěma terénními stupni) pro průzkum rodinného domu. Pro výpočet byla použita Pettersenova a Bishopova metoda a prostředí se rozdělilo na 3 vrstvy (od shora) - vrstva sprašové hlíny (F6 – CL), pásek slabě hlinitý (S3 – S-F), podloží tvořené zvětralým pískovcem a slínovcem (F8). Pro první vrstvu sprašových hlín byla uvažována nízká hodnota smykové pevnosti, která odpovídá měkké konzistenci (tabulka 6).

Vrstva č.	objemová tíha (kN*m <sup>-3</sup> )	ef. úhel vnitřního tření	efektivní soudržnost (kPa)
1	20	12	18
2	17,5	28	0
3	20,5	13	8

Tabulka 6: Hodnoty pro výpočet stupně stability podle Bishopa a Pettersena

Geotechnický model byl navržen „bez,, a „s,, vlivem podzemní vody. Bez vlivu vody stupeň bezpečnosti vyšel **FS = 1,7** pro oba terénní stupně. Po zavedení vlivu vody koeficientem  $R_u = 0,30$  došlo ke snížení stupně bezpečnosti (pro první terénní stupeň) pod

kritickou hodnotu ( $F = 1,5$ ) na hodnotu  $FS = 1,4$ . Pro zastavení této oblasti je tedy nutné provést stabilizační opatření (Stuchlík, 2000).

Já jsem se pro výpočet stupně stability rozhodla použít proužkovou metodu mezní rovnováhy sil, která uvažuje nenulové síly mezi bloky - Morgenstern-Pricovu metodu.

#### a) Metodika Morgenstern-Pricovy metody

Je obecná proužková metoda mezní rovnováhy založená na rovnováze sil i momentů jednotlivých bloků (schéma 4). Výslednice smykové a normálové složky mezi bloky mají rozdílný sklon na každém bloku (průběh úhlů na blocích kopíruje poloviční funkci sinus, tj. Half-sine, graf 4). Funkční hodnota Half-sine funkce ( $f(x_i)$ ) v bodě rozhraní  $x_i$  vynásobená parametrem  $\lambda$  dává hodnotu úhlu  $\delta_i$ .

[2]

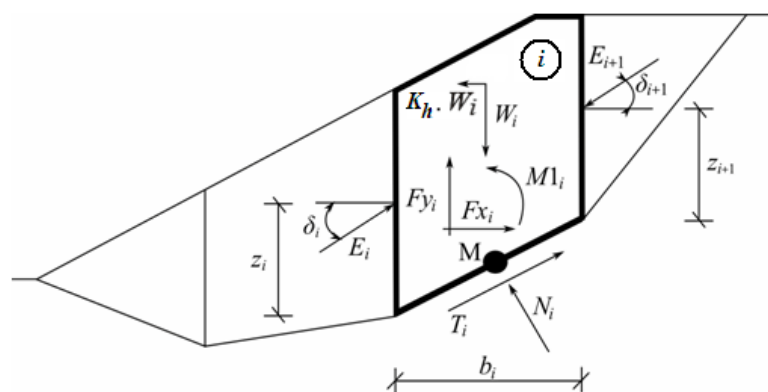
$$\delta_i = \lambda f(x_i)$$

Parametr  $\lambda$  kritickým předmětem iterace (viz. dále) pro splnění podmínek rovnováhy.

Morgenstern-Pricova metoda je rigorózní metodou, tj. splňuje všechny tři podmínky rovnováhy – silovou ve vodorovném i svislém směru a momentovou podmínku. Výpočet stupně stability  $FS$  probíhá iterováním sklonu meziblokových sil a stupně stability. Jedná se tedy o poměr sil pasivních (brání sesuvu) a aktivních (vyvolávají sesuv).

Pro výpočet limitní rovnováhy sil a momentů na blocích jsou zavedeny následující předpoklady (GEO5):

- dělicí plochy mezi bloky jsou vždy svislé
- paprsek tíhy bloku  $W_i$  prochází středem  $i$ -tého úseku smykové plochy, bodem  $M$
- normálová síla  $N_i$  působí ve středu  $i$ -tého úseku smykové plochy, v bodě  $M$
- sklon meziblokových sil  $E_i$  je rozdílný na každém bloku ( $\delta_i$ ), na počátku a na konci smykové plochy je  $\delta = 0$

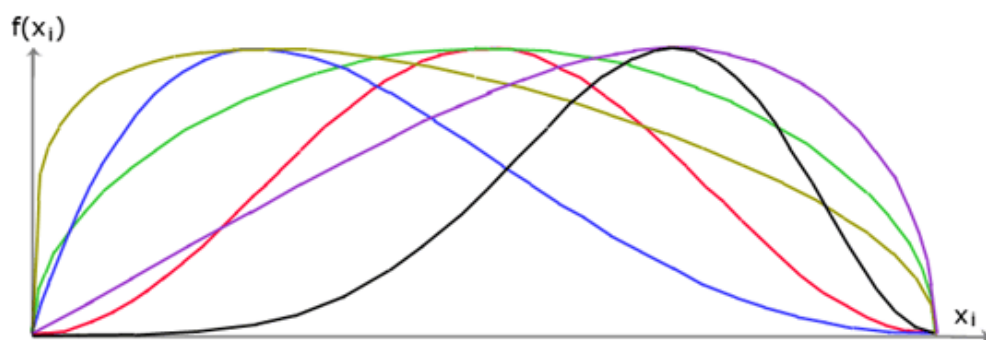


Statické schéma - Morgenstern-Priceova metoda

Schéma 4: Řešení stupně stability Morgenstern-Priceovou metodou (GEO 5).

V každém bloku se předpokládá působení sil (indexy):

- $W_i$  - tíha bloku včetně přetížení
- $K_h \cdot W_i$  - vodorovná setrvačná síla simulující účinky zemětřesení
- $N_i$  - normálová síla na smykové ploše
- $T_i$  - smyková síla na smykové ploše
- $E_i, E_{i+1}$  - síly, kterými na sebe působí sousední bloky, síly odkloněny o úhel  $\delta$  od horizontály
- $F_{Xi}, F_{Yi}$  - ostatní vodorovné a svislé síly působící na blok
- $M_i$  - moment od sil  $F_{Xi}$  a  $F_{Yi}$ , otáčející se kolem středu smykové plochy i-tého bloku - M
- $u_i$  - výslednice pórového tlaku na daném úseku smykové plochy



Graf 4: Half-sine funkce (GEO 5)

Řešení vychází z několika rovnic (GEO5):

$$N_i = N'_i + U_i \quad [3]$$

- vztah mezi efektivní a totální hodnotou normálové síly na smykové ploše.

$$T_i = (N_i - U_i) \tan \varphi_i + c_i \frac{b_i}{\cos \alpha_i} = N'_i \tan \varphi_i + c_i \frac{b_i}{\cos \alpha_i} \quad [4]$$

- Mohr-Coulombova rovnice vyjadřující vztah mezi normálovou a smykovou silou na úseku smykové plochy ( $N_i$  a  $T_i$ ).

$$N'_i + U_i - W_i \cdot \cos \alpha_i + K_h \cdot W_i \cdot \sin \alpha_i + Fy_i \cdot \cos \alpha_i - Fx_i \cdot \sin \alpha_i + E_{i+1} \cdot \sin(\alpha_i - \delta_{i+1}) - E_i \cdot \sin(\alpha_i - \delta_i) = 0 \quad [5]$$

- součtová výminka ve směru kolmém k i-tému úseku smykové plochy

$$N'_i \cdot \frac{\tan \varphi_i}{FS} + \frac{c_i}{FS} \cdot \frac{b_i}{\cos \alpha_i} - W_i \cdot \sin \alpha_i - K_h \cdot W_i \cdot \cos \alpha_i + Fy_i \cdot \sin \alpha_i + Fx_i \cdot \cos \alpha_i - E_{i+1} \cdot \cos(\alpha_i - \delta_{i+1}) + E_i \cdot \cos(\alpha_i - \delta_i) = 0 \quad [6]$$

- součtová výminka ve směru i-tého úseku smykové plochy

$$\begin{aligned} & E_{i+1} \cdot \cos \delta_{i+1} \left( z_{i+1} - \frac{b_i}{2} \tan \alpha_i \right) - E_{i+1} \cdot \sin \delta_{i+1} \cdot \frac{b_i}{2} - \\ & E_i \cdot \cos \delta_i \left( z_i - \frac{b_i}{2} \tan \alpha_i \right) - E_i \cdot \sin \delta_i \cdot \frac{b_i}{2} + \\ & M1_i - K_h \cdot W_i (y_M - y_{gl}) = 0 \end{aligned} \quad [7]$$

- momentová výminka k bodu M.

Z předchozích vztahů lze pro dané hodnoty  $\delta_i$  a  $F_s$  postupně dopočítat všechny meziblokové síly  $E_i$ . Dále dopočítáme hodnoty úhlů  $\delta_i$  ramen meziblokových sil  $z_i$  při známé hodnotě vlevo na počátku smykové plochy ( $z_1 = 0$ ).

Výpočet stupně stability  $F_s$  probíhá dvojnásobným iteračním postupem s následujícími kroky:

- 1) Zvolí se prvotní hodnota úhlů  $\delta_i$  pomocí funkce Half-sine ( $\delta_i = \lambda \cdot f(x_i)$ ).
- 2) Pro dané hodnoty úhlů  $\delta_i$  se ze vztahu stanoví odpovídající stupeň stability  $F_s$  (safety factor), a to tak, že na horním konci smykové plochy musí být hodnota  $E_{n+1} = 0$

- 3) Pro hodnoty sil  $E_i$  stanovené v předchozím kroku se vypočítá velikost úhlů  $\delta_i$ , a to tak, aby na posledním bloku vpravo vyšla nulová hodnota momentu (iteruje se pouze parametr  $\lambda$ ).
- 4) Iterace končí tehdy, pokud se úhly  $\delta_i$  (resp. parametr  $\lambda$ ) dalším opakováním nemění (GEO 5).

[8]

$$FS = \tan \varphi_i \cdot \tan (\delta_{i+1} - \alpha_i)$$

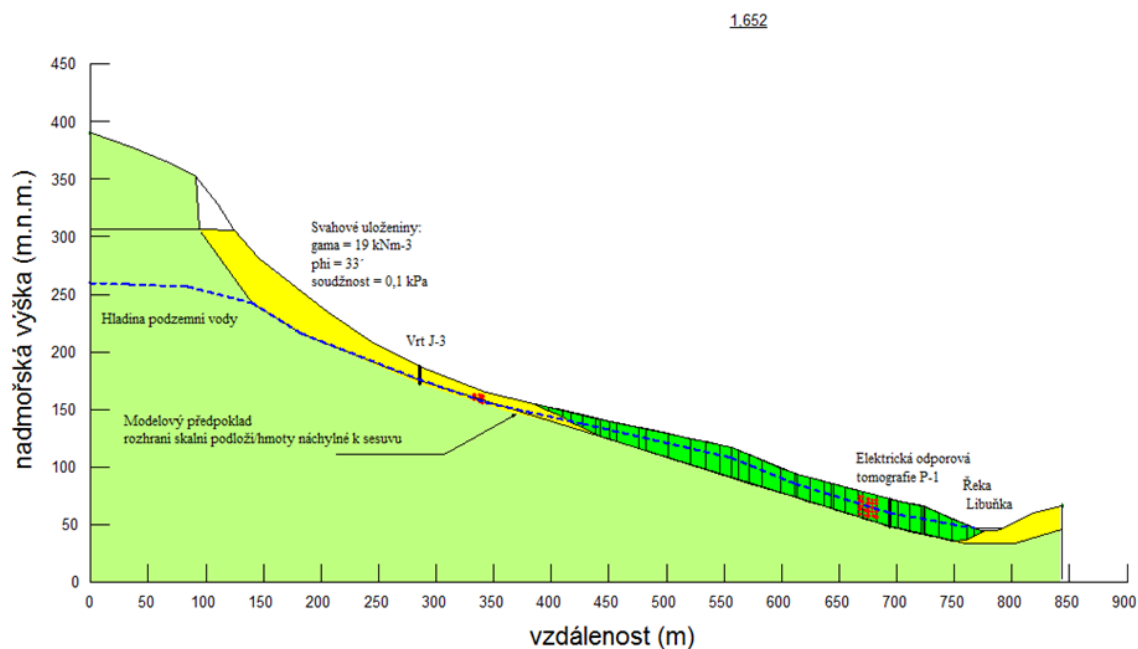
## b) Vytvoření modelu v programu GEO-SLOPE

Vytvořený model nakreslený na papíře se musel před vložením do programu zjednodušit.

- V horní části sesuvu jsou svahové uloženiny společně s kamennou frakcí. Jelikož je předpoklad, že vrchní část sesuvu je tvořena zahlabováním skalního masivu do podloží, budeme tuto část zanedbávat. Sesuv bude tvořen jednou zeminou.
- Jelikož je ve vrtu V8 a ERT zastižena zvětřalý slínovec, byl do modelu zaveden skalní podklad do hloubky 15 m u ERT a 13 m u J-3.
- Dle informací místních obyvatel je hladina podzemní vody 4 - 10m hluboko, podle informací z vrtu J-3 nebyla hladina podzemní vody zastižena. Proto hloubka hladiny podzemní vody v modelu činí 10 m.

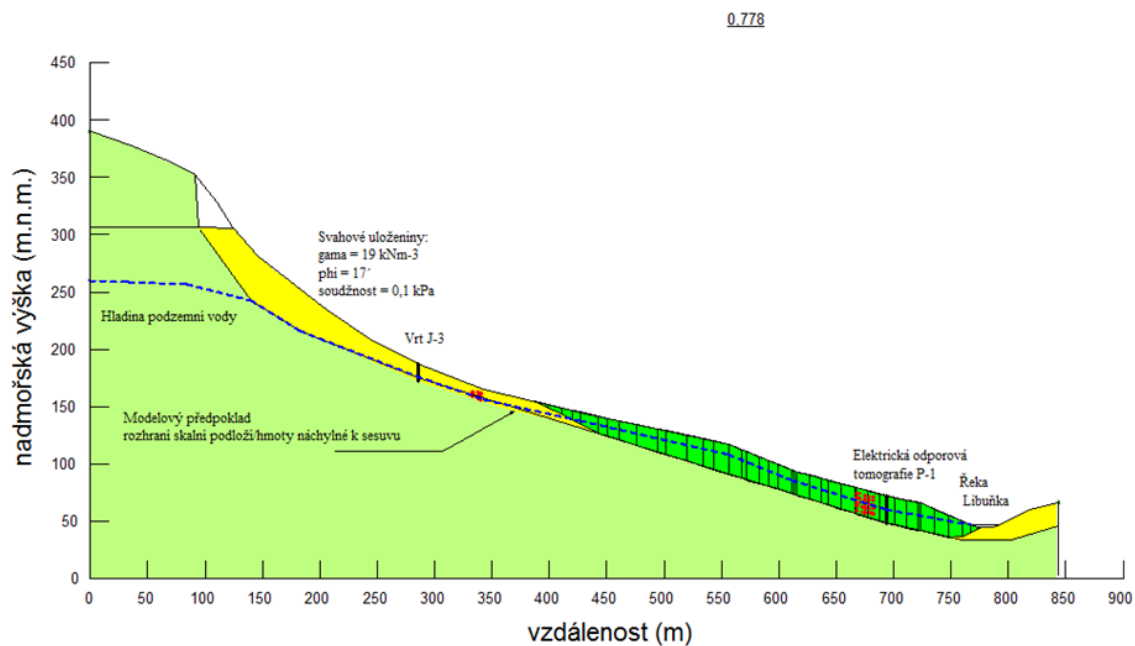
V programu GEO- SLOPE se vytvořil zjednodušený model oblasti sesuvu (podél profilu AA' (příloha č. 1) v měřítku 1: 1000. Do předpokládané smykové plochy se zavedla funkce *block specified* (levý: 2x2, pravý 4x4). Pro svahový materiál byly zvoleny parametry:  $\gamma = 19 \text{ kNm}^{-3}$ ,  $\varphi_{cr} = 33^\circ$ ,  $\varphi_{rez} = 17^\circ$ ,  $\varphi_{zpět} = 21,5^\circ$ ,  $c = 0,1 \text{ kPa}$

V první variantě výpočtu byl zaveden kritický úhel vnitřního tření  $33^\circ$ , který vyšel z laboratorních měření konzistenčních mezí. Výsledný stupeň stability činí **FS = 1,652** (obrázek 23).



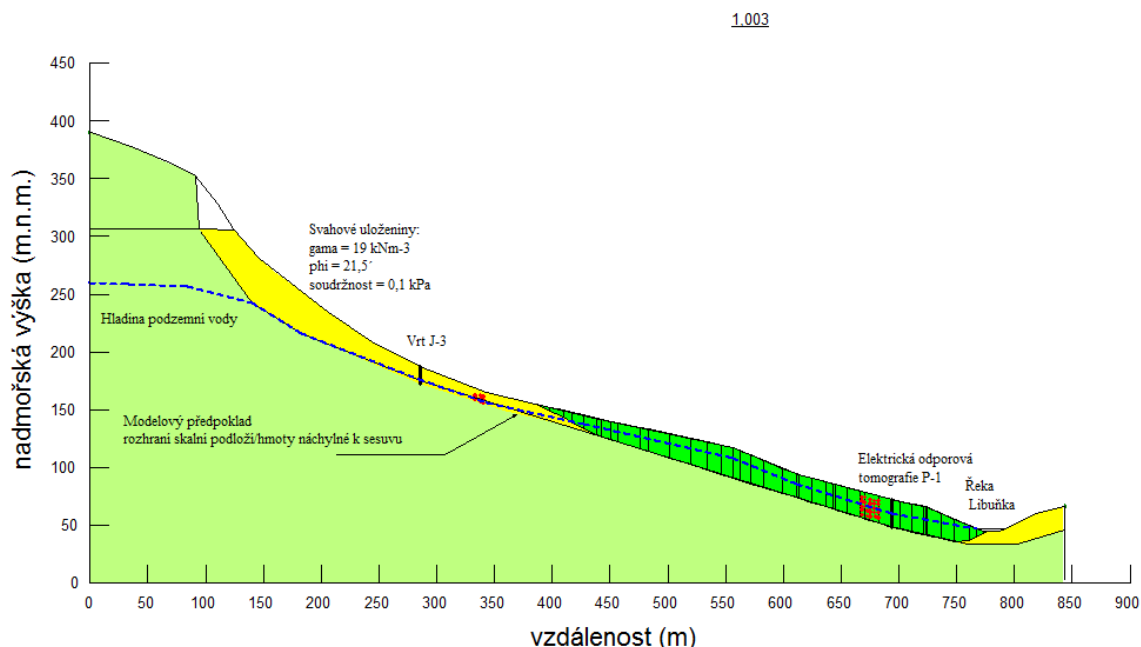
Obrázek 23: Zjednodušený model sesuvu se stupněm stability 1,652

Ve druhé variantě byl uvažován reziduální úhel vnitřního tření  $17^\circ$ . Reziduální úhel lze přibližně koncipovat jako polovinu úhlu kritického  $\varphi_{rez} = \frac{1}{2} \varphi_{cr}$  (Atkinson, 2007). Stupeň stability vyšel **FS = 0,778** (obrázek 24).



Obrázek 24: Zjednodušený model sesuvu se stupněm stability 0,778 při reziduálním úhlu vnitřního tření

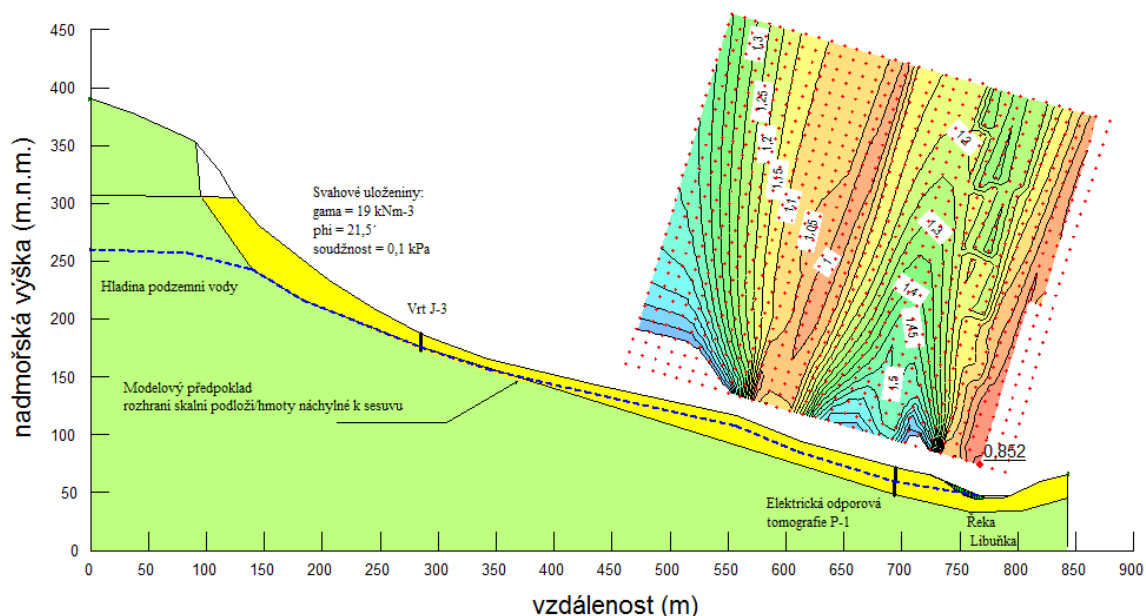
Třetí varianta výpočtu náležela zpětné analýze úhlu vnitřního tření. Tedy stupeň stability v okamžiku kolapsu cca  $FS = 1$ . Výsledný úhel vnitřního tření  $\phi = 21,5^\circ$   $FS = 1,003$  (obrázek 25).



Obrázek 25: Model vyhodnotil pro stupeň stability blízky jedné hodnotu úhlu  $21,5^\circ$

Aby byl posouzen celý svah se zohledněním též lokálních smykových ploch, byla čtvrtá varianta koncipovaná s využitím zpětně vypočteného úhlu vnitřního úhlu a zadáním smykových ploch pomocí středů a poloměrů lokálně v místě největšího sklonu. Nejnížší hodnota stupně stability vyšla ve spodní části svahu  $FS = 0,852$  a nejvyšší hodnota vyšla v polovině měřeného sesuvu  $FS = 1,5$  (obrázek 26). Jak je na obrázku dobře vidět, stupeň stability se zde velice často mění a kolísá.





Obrázek 26: Zjednodušený model sesuvu s vyhodnocenými stupni stability

#### Shrnutí:

- Je přijat předpoklad, že horní partie sesuvu nepřispívají ke stabilitě svahu a dochází k zabořování do svahu
- Pokud je předpokládaný geologický model reprezentativní, je pravděpodobné, že v místě smykové plochy je úhel vnitřního tření v intervalu  $\varphi \in (\varphi_{\text{rez}} - \varphi_{\text{cr}})$ , tedy v rozmezí  $17^\circ - 33^\circ$ . Dále je nutné vzít v úvahu, že různé části smykové plochy pravděpodobně vykazují jiné hodnoty úhlu vnitřního tření.
- Pokud je hodnota změřeného úhlu nerepresentativní, pak i v místě smykové plochy je zřejmě hodnota nižší. Tím je nerepresentativní i zpětná analýza.
- Pokud je geologický model reprezentativní (z hlediska rozložení částí smykových ploch, horninového podloží a geometrie povrchu), celková smyková plocha je složená a pravděpodobně retrográdní (porušována od spodu erozí řeky).

Viz. příloha č. 6. Grafické výsledky z programu GEO5

## Diskuse

Jak již bylo řečeno, rychlostní silnice R35 měla v minulosti (a jak to vypadá i v budoucnosti) mnoho podob. Ne všechny podoby silnice jsou však dobře řešené. U některých variant je jasné, že se musely vymýšlet, jak se říká, jen u stolu a dotyčná osoba neměla ani tušení, jak to na daném místě doopravdy vypadá.

### *I. Řešení pomocí tunelu*

Mezi „zatím“ poslední variantu pro úsek Turnov- Úlibice patří i jižní obchvat města. Tento obchvat má vést přes okolní obce Pelešany, Mašov a Hamry a to formou mělkého tunelu. Dle mého názoru je tato varianta proveditelná jen s velkou dávkou peněz a odvahy. Trouba tunelu má vést dočasně uklidněným sesuvem a to v celé jeho délce. Zajištění stability nejen samotného tunelu, u kterého by možnost narušení smykové plochy a spuštění sesuvu byla (vzhledem k dosavadním znalostem) velkou pravděpodobností, ale i okolních domů, by byla ekonomicky velice nevýhodná a velmi riziková. Místo mělkého tunelu by se dala navrhnout ještě mostní estakáda přes řeku Libuňku. U této varianty však vidím problém vzhledem k výšce, do jaké by musela niveleta silnice rychle vystoupat a klesnout (vzhledem k tomu, že musí překonat železniční trať, řeku a několik domů).

### *II. Doporučení pro orientační geotechnický průzkum*

V rámci orientačního geotechnického průzkumu by se mělo provést detailní mapování celého svahu vhodným geofyzikálním měřením zahrnujícím seismické a geoelektrické metody. Dále je třeba provést několik vrtů v ose plánovaného tunelu i mimo něj (do hloubky pod smykovou plochu nebo troubu tunelu). Díky jejich kombinaci budou spolu s provedenými jádrovými vrty získaná naměřená data výrazně lépe vypovídající. Do svahu se mohou ještě instalovat extenzometry a inklinometry, aby mohlo probíhat monitorování. Pro jistotu je možné vytvořit počítačový model celého tunelu. Na základě těchto údajů by se dalo posoudit, jak velké riziko by případný tunel vyvinul.

### *Geofyzikální měření:*

Geofyzikální profily je dobré provést jak v podélné trase silnice (tunelu), tak příčné přes celé sesuvné území (tedy od odlučné oblasti až po akumulární oblast, Mráček et. al., 2017).

- *Metoda MRS* (mělká refrakční seismika) - sleduje reliéf pevného podloží a odliší horniny a jejich stav na základě jejich pevnosti. Ta je přímo úměrná rychlosti seismického signálu, který se v nich šíří.
- *Metoda MEM* (odporová multielektrodová metoda) - moderní geoelektrická metoda, která kombinuje poloautomatickým způsobem elektrické sondování a profilování. Tuto metodu je možné případně nahradit metodou vertikálního elektrického sondování (VES).

### *Vrtné práce:*

Vybrané jádrové vrty bude vhodné provést vystrojené jako monitorovací - inklinometrické vrty ke sledování svahových pohybů a rovněž také jako hydrogeologické pozorovací vrty kvůli sledování hladiny podzemní vody. Hloubky sond musí být navrženy tak, aby zasahovaly dostatečně pod úroveň dna tunelu v trase, anebo dostatečně hluboko pod předpokládanou smykovou plochu sesuvného území. Vrty bude vhodné situovat jak v podélných, tak v příčných geofyzikálních profilech.

### *Hydrogeologické práce:*

V rámci orientačního geotechnického průzkumu bude užitečné lokalizovat vhodné studně k měření hladin podzemní vody v sesuvném území.

## Závěr

Plánovaný jižní obchvat města Turnova přes území Pelešan, Mašova a Hamrů je součástí zatím vítězné severní varianty rychlostní silnice R35. Toto území je díky své geologické stavbě náchylné na svahové deformace, které jsou prokázány už z pleistocenu. Dle registru svahových nestabilit je sesuv zanesený jako dočasné uklidněný plošný sesuv, na kterém jsou patrné v programu QGIS dílčí sesuvy. Tato diplomová práce se zabývala vyhodnocením rizika svahových pohybů, s ohledem na plánovaný mělký tunel, a to třemi metodami.

1. Inženýrskogeologické mapování
2. Měření elektrickou odporovou tomografií ERT
3. Výpočet stability svahu

### *Inženýrskogeologické mapování*

Mapování sesuvného území proběhlo v březnu roku 2017. Výsledkem je mapa 1: 5 000, kde jsou zakreslené všechny geomorfologické znaky sesuvu. Celkově jsem při mapování zaznamenala 13 vlastních dokumentačních bodů. V příloze je vlastní mapa, legenda k mapě a seznam s fotodokumentací dokumentačních bodů.

### *Měření elektrickou odporovou tomografií ERT*

Realizovaný geofyzikální průzkum pro východní portál tunelu Pelešany přinesl následující základní poznatky:

- Terénní měření částečně odhalilo staré fosilní pohyby a potvrdilo možné geologické rozhraní sesuvu. Dle měřených odporů se zde nalézají pískovce, jílovité písky a jíly, které byly zachyceny ve vrtech v okrajových částech sesuvu.
- Do hloubky řezu (15 m) nebyla zachycena hladina podzemní vody
- Na zvoleném profilu nebyla zachycena žádná důlní díla a žádné zlomové partie

Je nutné podotknout, že použitá metoda je nepřímá a samostatně se z ní nedá usuzovat na konkrétní vlivy způsobující odporové anomálie. Interpretace je proto zatím předběžná a je prováděna bez znalosti možných antropogenních podzemních produktodů a jiných objektů, které by mohly ovlivnit naměřené hodnoty.

### *Výpočet stability svahu*

Dle archivní dokumentace je pro horní část sesuvu stupeň stability bez vody  $FS = 1,7$ , se započítáním hladiny podzemní vody klesne stupeň stability na hodnotu  $FS = 1,4$ . V programu GEO –SLOPE vyšel stupeň stability pro kritický úhel  $33^\circ$   $FS = 1,652$ . Po změně na reziduální úhel  $17^\circ$  vyšel stupeň stability  $FS = 0,778$  a po zpětné analýze s průměrným úhlem vnitřního tření  $21,5^\circ$  vyšel stupeň stability 1,003. U čtvrtého geologického modelu s rozšířenými specifickými bloky vyšel stupeň stability v rozmezí  $0,852 - 1,5$ .

Dá se tedy říci, že je zde smyková plocha složená, a v různých částech smykové plochy vychází úhel vnitřního tření jiný, a tím pádem i jiný stupeň stability. Úhel vnitřního tření se pohybuje v rozmezí  $17^\circ - 33^\circ$ .

### *Na základě provedené rešerše lze konstatovat*

- Celá trasa tunelu se nachází dle Geofondu v jednom rozsáhlém aktivním sesuvném území a dle nového mapování ČGS ve dvou dočasně uklidněných svahových nestabilit.
- Podle popisu místních obyvatel je hladina vody v rozmezí okolo 4 -10m, což koreluje se dvěma archivními vrty, kde byla hladina vody zastižena v 4,4 a 5,6 m.
- Vzhledem k vedení trasy tunelu je důležité si uvědomit, že touto stavbou může dojít k ovlivnění celého svahu od skalního útvaru Hlavatice až po nivu říčky Libuňky.
- V případě stavby tunelu v tomto sesuvném území bude nutné počítat s rozsáhlými stavebně technickými opatřeními, která zamezí aktivaci sesuvu.

## Seznam literatury

### Mapy:

- a. <http://www.geologicke-mapy.cz/regiony/ku-771601/>
- b. <http://www.geology.cz>
- c. <http://www.mapy.cz>
- d. <http://povodnovamapa.kraj-lbc.cz>
- e. <http://hydro.chmi.cz>
- f. <http://geoportal.cuzk.cz>
- g. <http://www.dalnice-d35.cz/public/files/documents/r35-full-17c12.pdf>

### Webové stránky:

- a. <http://prvk.kraj-lbc.cz/hydrogeologie>
- b. [www.cesky-raj.info](http://www.cesky-raj.info)
- c. <http://www.dalnice-silnice.cz/R/R35.htm>
- d. <http://www.turnov.cz/cs/mesto/uzemni-plany-rozvoj-a-mpz/dopravni-a-rozvojove-studie/aktualni-situace-projektu-komunikace-s5-i-35-a-obchvatu-mesta-turnova-ii-283-prelozka-napojeni.html>
- e. [http://www.kraj-lbc.cz/public/kopk\\_a\\_241\\_2\\_2fc038822e.pdf](http://www.kraj-lbc.cz/public/kopk_a_241_2_2fc038822e.pdf)

### Obrázky:

- a. [http://en.openei.org/wiki/DC\\_Resistivity\\_Survey\\_\(Wenner\\_Array\)](http://en.openei.org/wiki/DC_Resistivity_Survey_(Wenner_Array))
- b. <http://scienceblogs.de/diaxs-rake/2009/06/02/in-den-boden-sehen-mit-electrical-resistivity-tomography/>
- c. [http://www.gfinstruments.cz/index.php?menu=gi&cont=ares\\_ov](http://www.gfinstruments.cz/index.php?menu=gi&cont=ares_ov)

### Normy.

- a. ČSN CEN ISO/TS 17892-12 (721007) *Geotechnický průzkum a zkoušení - Laboratorní zkoušky zemin - Část 12: Stanovení konzistenčních mezí*
- b. ČSN EN ISO 14688-1 (721003) *Geotechnický průzkum a zkoušení – Pojmenování a zatřídění zemin - Část 1: Pojmenování a popis*
- c. ČSN 731001 *Zakládání staveb. Základová půda pod plošnými základy*

## Literatura:

1. Atkinson J. H., 2007. *The mechanics of soils and foundations*. Second edition. Taylor & Francis, New York, 442 s. ISBN 0-07-707713
2. Bokr, Pavel (2002): *Velká křídová záplava*. [online]. [2017-03-18] Dostupné také z: <http://www.gweb.cz/clanky/clanek-1/>
3. Čech, S., V. Klein, J. Kříž, J. Valečka, (1980): *Revision of the Upper Cretaceous stratigraphy of the Bohemian Cretaceous Basin*. Věstník Ústředního ústavu geologického, 55, 5, 277-296s. Praha.
4. GEO 5 – software od firmy FINE, učební texty k softwaru a nápověda. [online]. [cit. 2017-04-22]. Dostupné z: <http://www.fine.cz/napoveda/geo5/>
5. Herčík, F., Z. Herrmann, J. Valečka (1999): *Hydrogeologie české křídové pánve*. 1. vyd. Český geologický ústav, 115s. Praha.
6. Hromek, Jan: *Charakteristika současného stavu přírodního prostředí, Lesprojekt, lesnické a parkové úpravy*, 59s. [online]. [2017-03-15] Dostupné také z: [http://www.kraj-lbc.cz/public/kopk\\_a\\_241\\_2\\_2fc038822e.pdf](http://www.kraj-lbc.cz/public/kopk_a_241_2_2fc038822e.pdf)
7. Chlupáč, Ivo, Rostislav Brzobohatý, Jiří Kovanda, Zdeněk Stráník (2002): *Geologická minulost České republiky*. 1. vydání, Academia, 436s. Praha ISBN 80-200-0941-0
8. Malík, Jan (2015): *Vyhodnocení terénní etapy – zpráva rychlostní komunikace R35* Turnov–Jičín. 19s. Praha.
9. Malík, Jan (2016): *Vyhodnocení terénní etapy – zpráva rychlostní komunikace R35 úseky* Turnov–Jičín a Opatovec–Staré Město. 21s. Praha.
10. Markovský, Miroslav, Zdenka Benešová, Josef Čadek, Vlastimil Holub, Josef Chaloupský, Ján Jetel, Vlastimil Müller, Jan Mařín, Radko Tásler (1974): *Geologie české křídové pánve a jejího podloží*, Academia, 263s. Praha.
11. Mitchell, J., K., Soga, K., (2005): *Foundamentals of soil behavior*, third edition, John Wiley and Sons, inc., ISBN-10:0-471-46302-7
12. Mochal, Richard (2012): *Základní informace - oficiální stránky města Turnova*. [online]. [2017-02-8] Dostupné také z: <http://www.turnov.cz/cs/mesto/zakladni-informace-1.html>
13. Mráček, Michal, Aleš Kubát (2017): *Turnov – Úlibice I/35, tunel Pelešany*, Inženýrskogeologická rešerše, Geo-Tech – GS, 16s, Praha
14. Mráz, Bohumír (2009): *Dějiny výtvarné kultúry* . 4. vydání – Idea servis, 183s. Praha. ISBN 978-80-85970-65-4
15. Nemeton 2015: *Zemní sesuvy – Geoelektrické odporové metody*. [online]. Katalogový list [2017-03-20] Dostupné také z: <http://www.zemnisesuvy.cz/katalog.php?76>



16. Sedláček, Štěpán, Ján Skovajsa, Zbyněk Kravciv, Petr Pokorný (2008): *Informační publikace o rychlostní silnici, Ředitelství silnic a dálnic*, 55s., [online]. Praha. [2017-03-15] Dostupné také z: <http://www.dalnice-d35.cz/public/files/documents/r35-publikace2015-web.pdf>
17. Soos, P. and Boháč, J. (2002) *Properties of soils and rocks and their laboratory determination*. In: U. Smolczyk (ed.), *Geotechnical Engineering Handbook*. Vol 1: Fundamentals. Ernst & Sohn, Berlin, 119-206.
18. Stuchlík, Josef (2000): *Závěrečná zpráva o provedení podrobného inženýrsko-geologického průzkumu pro rodinné domky v obci Turnov-Mašov*. 12s. Hradec Králové.
19. Tábořík, Petr (2012): *Možnost využití odporové tomografie ve výskumu horského reliéfu*, 184s. Ostrava.
20. Vávra, Václav, Jindřich Štelcl: *Česká křídová pánev*, [online]. Brno. [2017-03-18] Dostupné také z: [http://pruvodce.geol.cechy.sci.muni.cz/regionalni\\_geol/kridova\\_panev.htm](http://pruvodce.geol.cechy.sci.muni.cz/regionalni_geol/kridova_panev.htm)
21. Vybíral, Roman (2006): *Zázemí u parkoviště před Valdštejnem*. 15s. Liberec.
22. Záruba, Quido (1946): *Geologický výzkum území města Turnova pro nový regulační plán*, sborník Plánujeme Turnovsko. 15s. Turnov
23. Záruba, Quido (1952): *Periglaciální zjevy na Turnovsku*, sborník Ústředního ústavu geologického. 157-168s. Praha

**Univerzita Karlova v Praze**

**Přírodovědecká fakulta**

Studijní program: Aplikovaná geologie

Studijní obor: Inženýrská geologie



**Bc. Barbora Dašková**

Přílohy

Praha, 2017

## Obsah

1. Mapa geomorfologických tvarů sesuvu.....	62
2. Legenda k mapě geomorfologických tvarů sesuvu .....	63
3. Seznam dokumentačních bodů .....	64
4. Fotodokumentace dokumentačních bodů .....	67
5. Grafické výsledky profilů měření ERT .....	74
6. Grafické výsledky z programu GEO5 .....	77

# 1. Mapa geomorfologických tvarů sesuvu

Nevázaná příloha

## 2. Legenda k mapě geomorfologických tvarů sesuvu

Odlučná stěna



Akumulační zóna sesuvu



Zvlnění terénu



Blokové pole



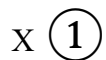
Zamokřené místo



Bezodtoková zamokřená deprese



Dokumentační bod



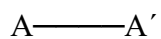
Trasa tunelu



Vrty



Geologický profil



Porušený objekt



### 3. Seznam dokumentačních bodů

#### Dokumentační bod č. 1

- Říční zářez a eroze potoka Libuňka u mostu
- Vzdálenost od čerpací stanice (měřeno vzdušnou čarou) 250m
- Jedná se o 1,5m vysoký říční zářez prostoupený hustou vegetací, dlouhý cca 150m
- V místě zářezu vystupuje na povrch jemnozrnná jílovitá zemina okrové barvy

#### Dokumentační bod č. 2

- Odlučná hrana menšího sesuvu v ostré zatáčce u hlavní silnice
- Vzdálenost od čerpací stanice (měřeno vzdušnou čarou) 400m
- Jedná se o boční val velkého pleistocenního sesuvu, kde vznikla nová odlučná hrana menšího sesuvu. Odlučná hrana je cca 100m široká a 2m vysoká s pařezy jehličnatých stromů. Směrem dolů po hlavní silnici se mocnost snižuje, až na výšku nivelety silnice
- V místě odlučné hrany je jemnozrnná písčitá hlína šedivé barvy, u vozovky jsou patrné šterky

#### Dokumentační bod č. 3

- Rýha na lesní cestě
- Vzdálenost od čerpací stanice (měřeno vzdušnou čarou) 500m
- Jedná se o 20cm hlubokou rýhu, kde je ve spodní části patrná jílovitá zemina okrové barvy

#### Dokumentační bod č. 4

- Boční val sesuvu
- Vzdálenost od čerpací stanice (měřeno vzdušnou čarou) 600m
- Jedná se o boční val velkého pleistocenního sesuvu, kde vznikla nová odlučná hrana sesuvu. Odlučná hrana je cca 100m široká a 1 - 2,5m vysoká s hustě prorostlými kořeny stromů. Směrem dolů do údolí se mocnost zvyšuje.
- V místě odlučné hrany je jemnozrnný jílovitý písek hnědé barvy, s kořeny stromů a úlomky pískovců velikosti do 3cm

#### Dokumentační bod č. 5

- Násyp a odlučná hrana u parkoviště pod hradem Valdštejn
- Vzdálenost od rozhledny Hlavatice (měřeno vzdušnou čarou) 700m
- Jedná se o cca 2m vysokou odlučnou hranu s alejí stromů upravenou pomocí náspu na parkoviště.
- Je zde patrná hlína s úlomky štěrku, pískovce a křemene do 5cm

#### Dokumentační bod č. 6

- Pískovcový výchoz nad cestou ke hradu Valdštejn
- Vzdálenost od rozhledny Hlavatice (měřeno vzdušnou čarou) 550m
- Jedná se o cca 2,5m vysoký a 3m široký pískovcový výchoz v prudkém svahu nad silnicí. V okolí se nachází řada podobných výchozů.
- Pukliny:  $236^{\circ}/84^{\circ}$

#### Dokumentační bod č. 7

- Velký pískovcový výchoz – odlučná plocha
- Vzdálenost od rozhledny Hlavatice (měřeno vzdušnou čarou) 450m
- Pískovcový výchoz je cca 10m vysoký a 10m široký. Jedná se o odlučnou hranu velkého fosilního sesuvu. V okolí se nachází řada podobných výchozů. Blokované rozpukaný, okrově-žluté až šedé barvy
- Odlučná plocha se táhne až pod rozhlednu Hlavatice
- Pukliny:  $220^{\circ}/73^{\circ}$  ,  $142^{\circ}/77^{\circ}$

#### Dokumentační bod č. 8

- Vývrat stromu ve strmé stráni nad turistickou stezkou
- Vzdálenost od rozhledny Hlavatice (měřeno vzdušnou čarou) 180m
- Jedná se o vývrat stromu s hlinitými písky při povrchu až písky na dně jámy, okrové až šedé barvy

#### Dokumentační bod č. 9

- Zářez u vedlejší silnice blízko potoka Libuňka
- Vzdálenost od čerpací stanice (měřeno vzdušnou čarou) 400m
- Jedná se o 1,5m vysoký zářez prostoupený hustou vegetací, dlouhý cca 100m



- V místě zářezu vystupuje na povrch jemnozrnná jílovitá zemina tmavě okrové až šedé barvy

#### Dokumentační bod č. 10

- Odlučná hrana nového sesuvu
- Vzdálenost od rozhledny Hlavatice (měřeno vzdušnou čarou) 200m
- Jedná se o odlučnou hrana sesuvu, která je cca 250m široká a cca 8m vysoká s hustě porostlou vegetací. Jedná se o aktivní sesuv.
- V místě odlučné hrany je jemnozrnná hlinitopísčítá zemina s úlomky do 15cm.

#### Dokumentační bod č. 11

- Odkryv sesuvu pod Hlavaticí
- Vzdálenost od rozhledny Hlavatice (měřeno vzdušnou čarou) 250m
- Jedná se o částečný odkryv bočního valu v místě zbořeného domu pod rozhlednou Hlavatice.
- Je zde jemnozrnný jílovitý písek okrové až šedé barvy

#### Dokumentační bod č. 12

- Rýha u popraskaného baráku nad budoucím východním portálem
- Vzdálenost od čerpací stanice (měřeno vzdušnou čarou) 200m
- Jedná se o 50cm hlubokou rýhu, kde je patrné rozhraní hlíny, písku a slínovce s kousky pískovce do 20cm
- Rýha se nachází v blízkosti starého baráku, který má popraskané zdivo od sedání. Dále je v blízkém okolí sloup elektrického vedení, který je velice nahnutý. Vše nasvědčuje výskytu aktivního sesuvu.

#### Dokumentační bod č. 13

- Pokračování odlučné plochy pod Hlavaticí
- Vzdálenost od rozhledny Hlavatice (měřeno vzdušnou čarou) 100m
- Jedná se o odlučnou oblast - trhlinu, kterou si lidé upravili jako cestičku pro lepší pohyb pod rozhlednou. Trhlina je 2m hluboká a táhne se až pod rozhlednu (délka cca 100m). Je hustě porostlá vegetací a vystupují zde různě velké bloky pískovce.
- Je zde písek až hlinitý písek okrové až šedé barvy

## 4. Fotodokumentace dokumentačních bodů

1 DB

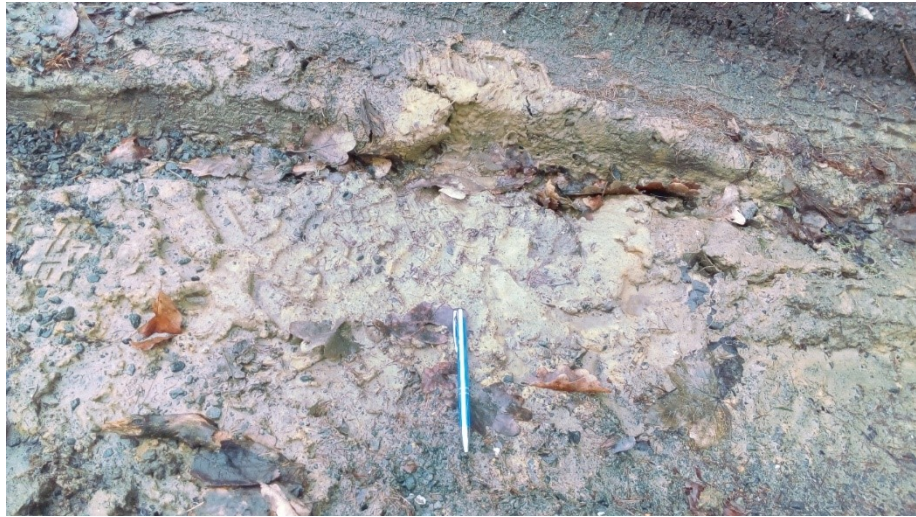


2 DB





3 DB



4 DB



5 DB





6 DB



7 DB





8 DB



9 DB





10 DB



11 DB





12 DB



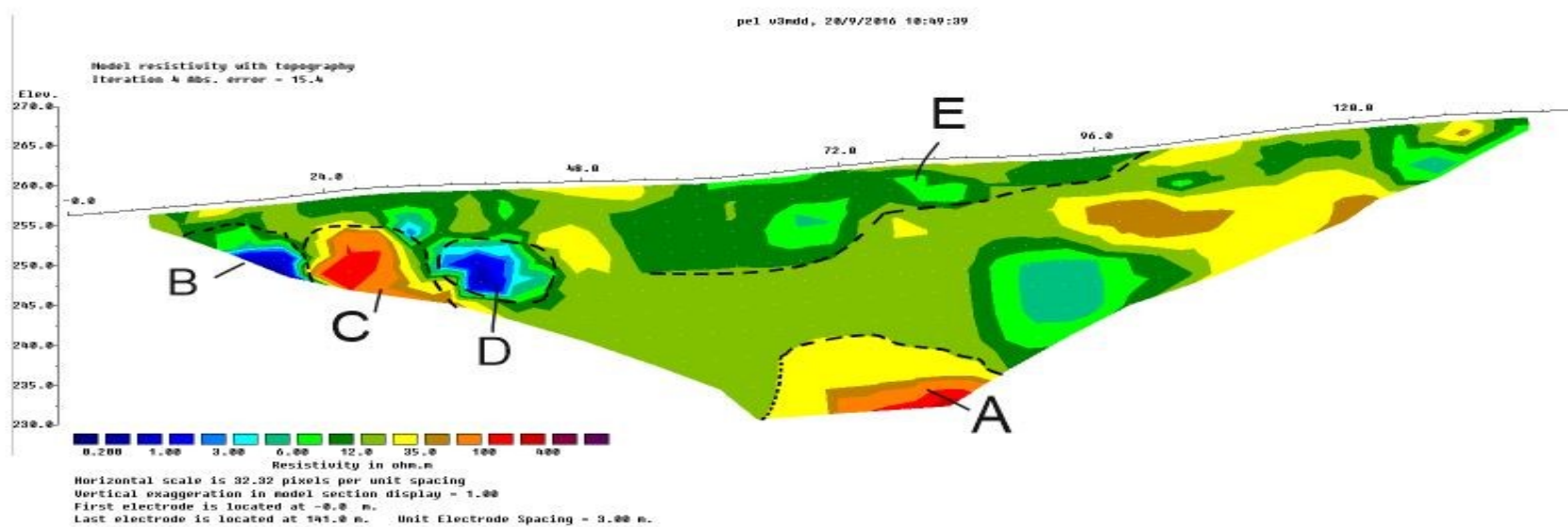


13 DB



## 5. Grafické výsledky profilů měření ERT

Detail profilu P1



A – Skalní podloží

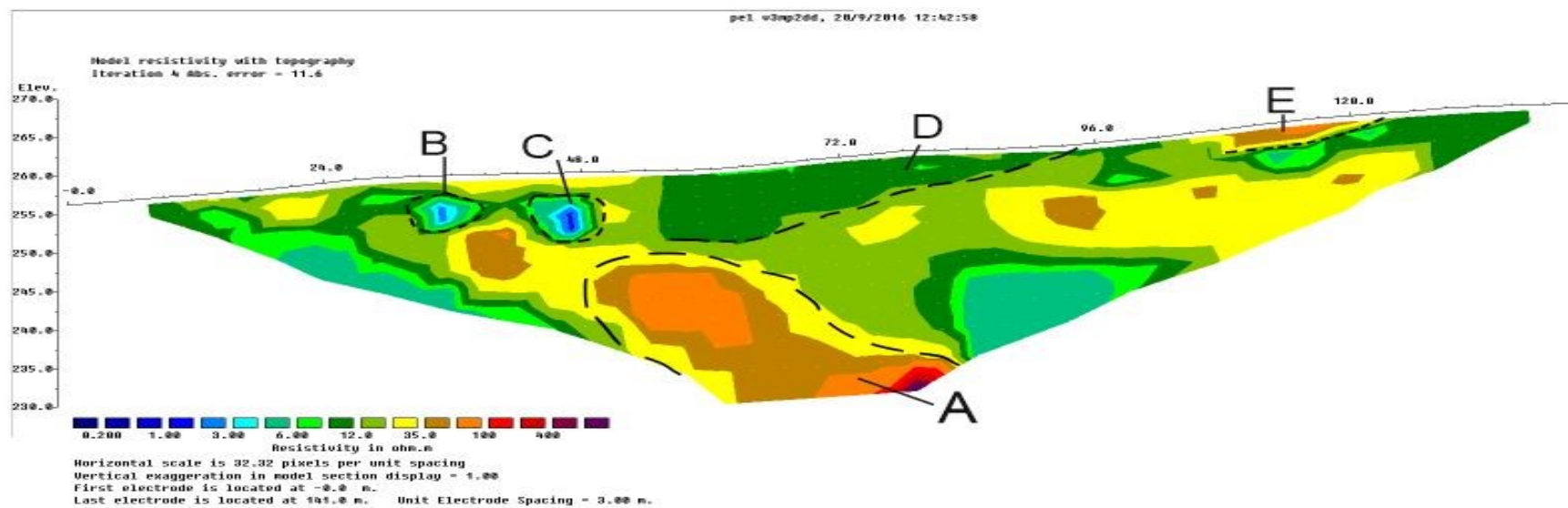
B – Odvodnění silnice

C – Konstrukční vrstva silnice

D – Odvodnění silnice

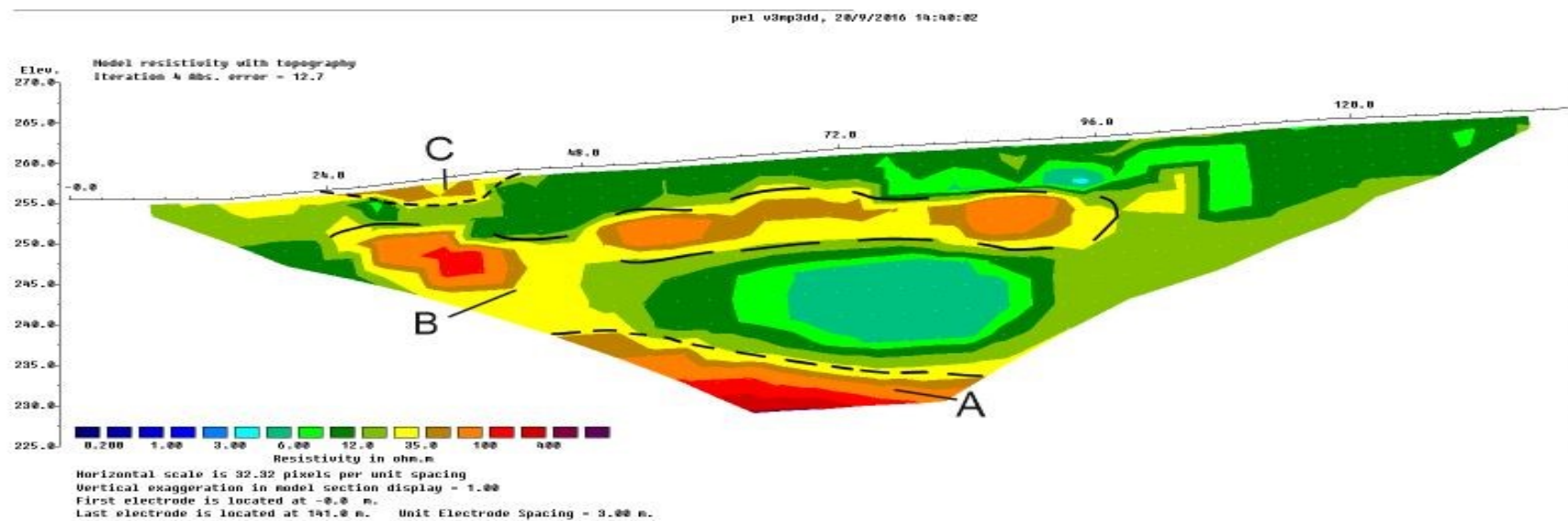
E – Starý sesuv

## Detail profilu P2



- A – Skalní podloží
- B – Odvodnění silnice
- C – Odvodnění silnice
- D – Starý sesuv
- E – Starý sesuv

## Detail profilu P3



A – Skalní podloží

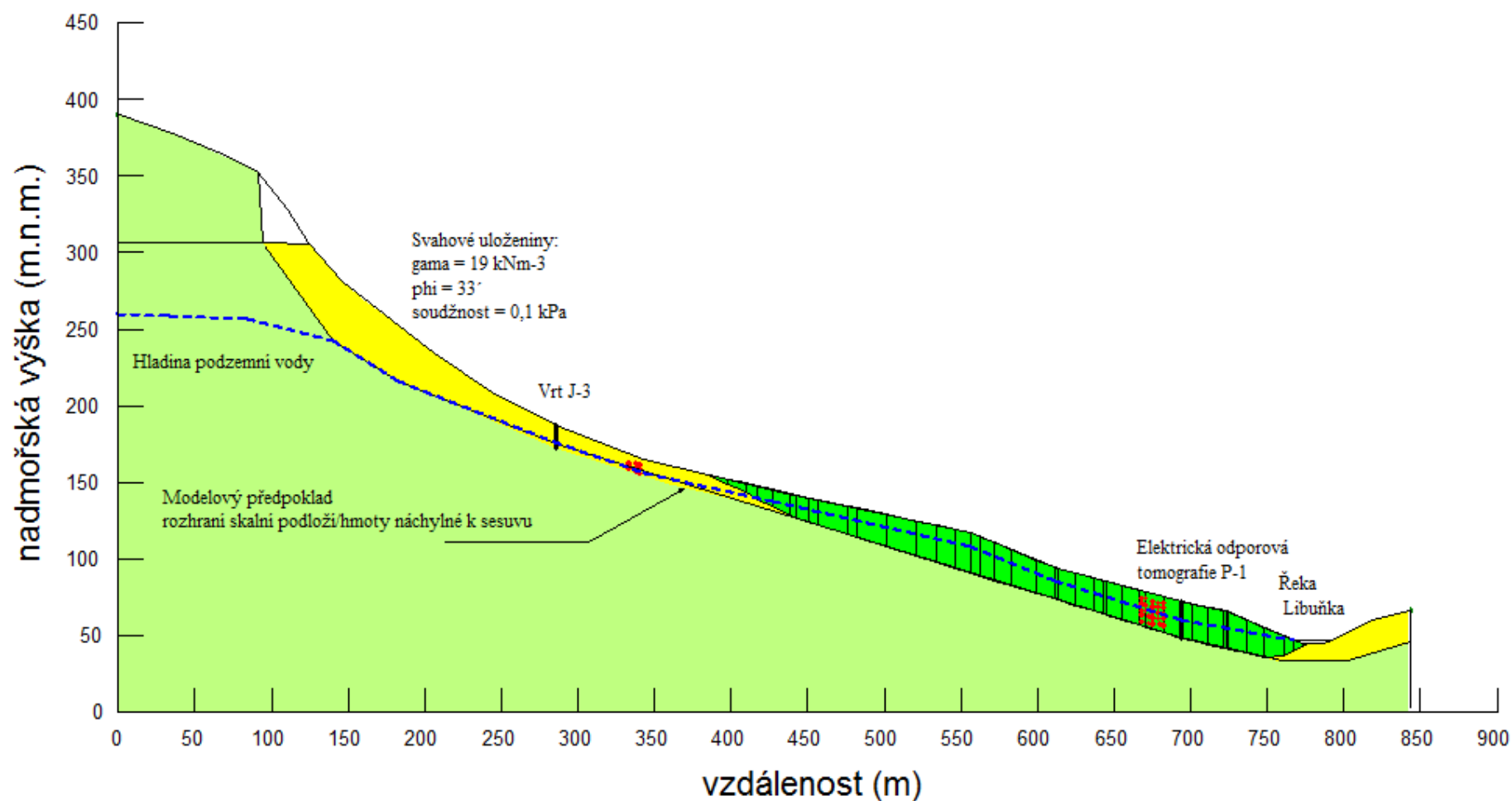
B – Nahromaděný štěrkovitý materiál přinesený vodou při záplavách

C – Starý sesuv

## 6. Grafické výsledky z programu GEO5

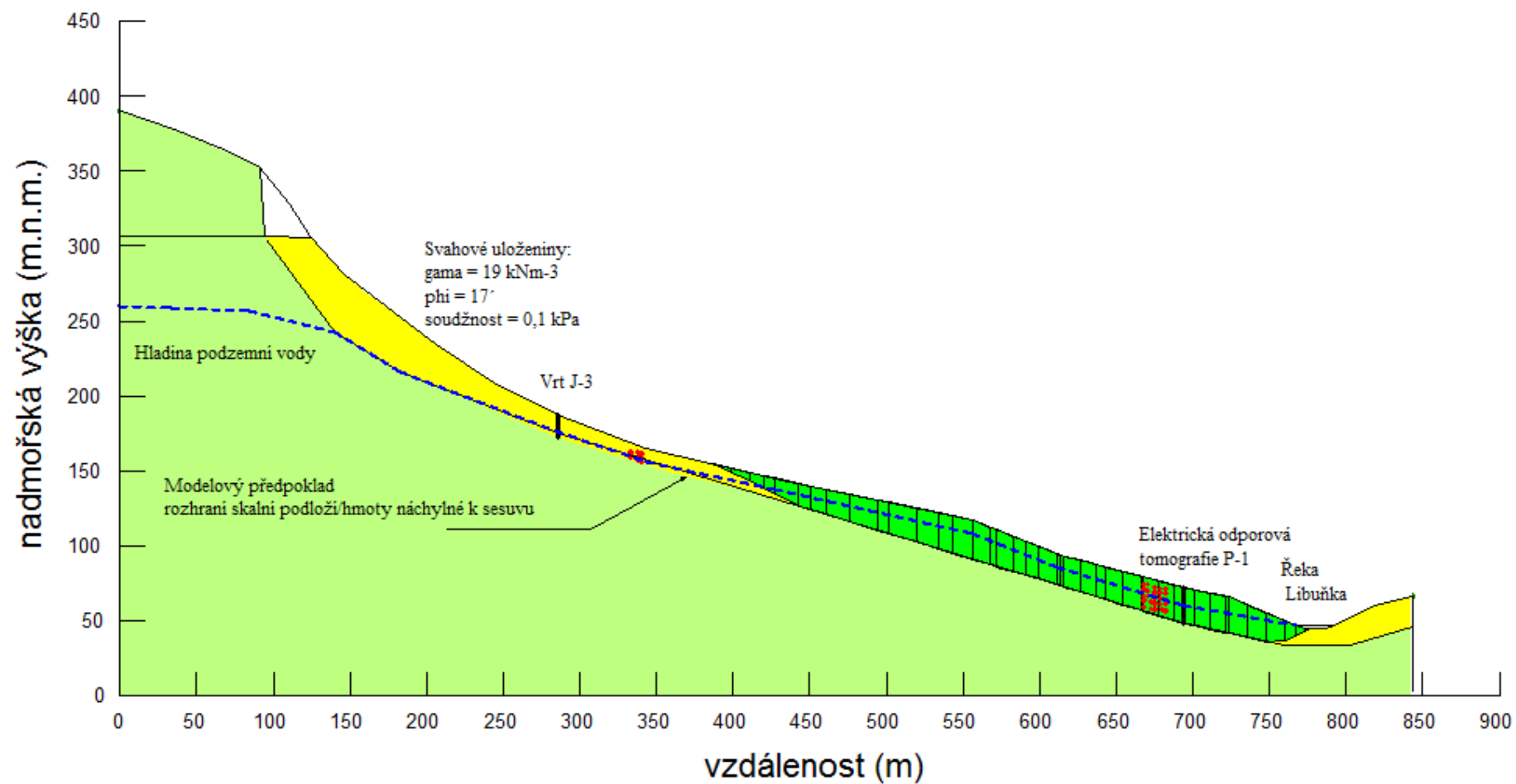
Znázornění první varianty modelu s kritickým úhlem vnitřního tření  $FS = 1,652$  a  $\varphi = 33^\circ$

1.652



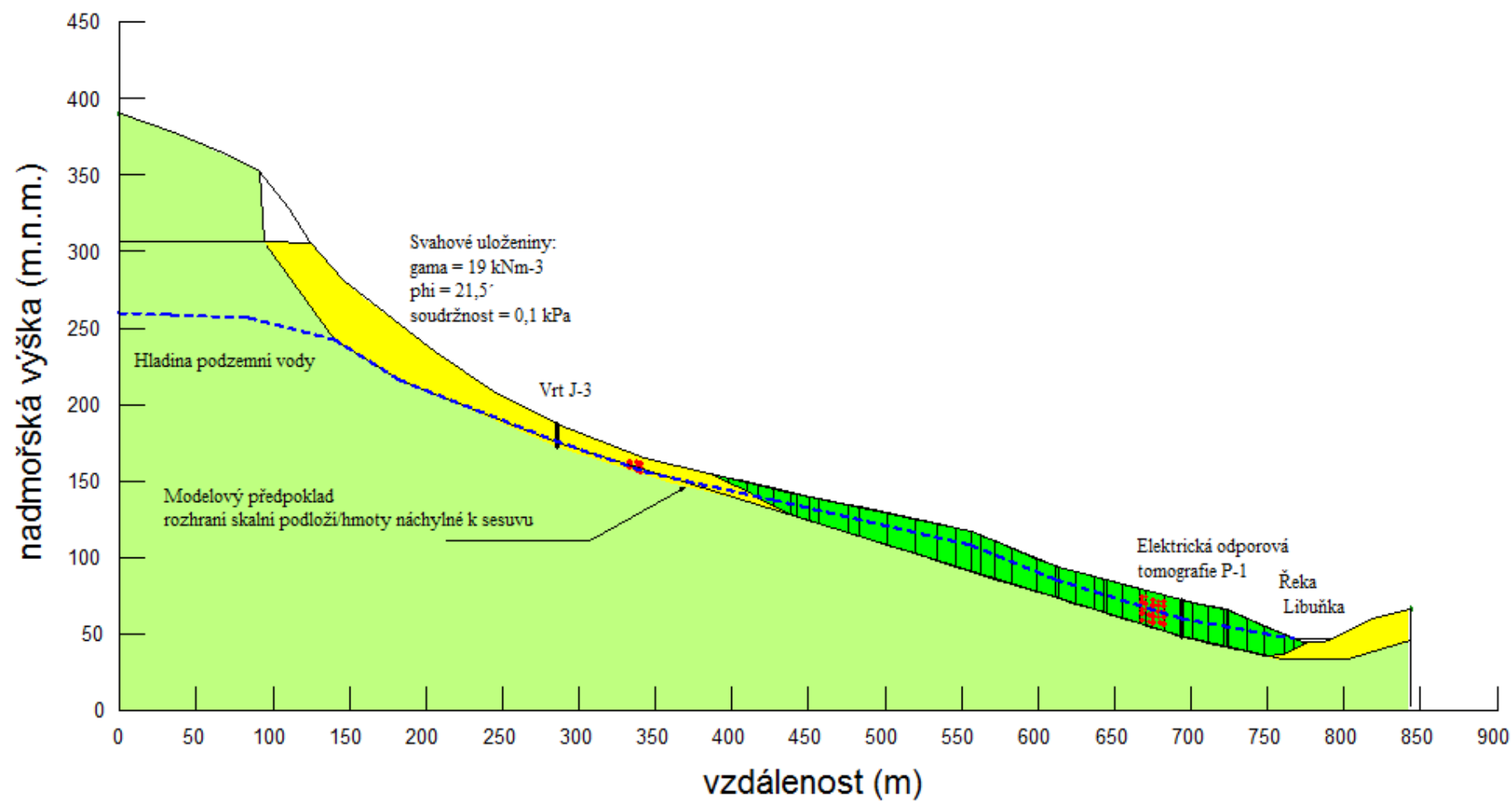
Znázornění druhé varianty modelu s využitím reziduálního úhlu vnitřního tření  $FS = 0,778$  a  $\varphi = 17^\circ$

0.778



Znázornění třetí varianty modelu FS = 1 a výsledný úhel vnitřního tření  $\varphi = 21,5^\circ$

1.003





Znázornění čtvrté varianty modelu s využitím zpětně vypočteného úhlu vnitřního tření  $FS = 0,825$  až  $1,5$

